

日本国特許庁  
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office

出願年月日

Date of Application:

2002年 9月27日

出願番号

Application Number:

特願2002-283247

[ST.10/C]:

[JP2002-283247]

出願人

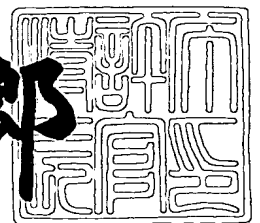
Applicant(s):

シャープ株式会社

2003年 5月16日

特許庁長官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

太田信一郎



出証番号 出証特2003-3036451

【書類名】 特許願

【整理番号】 1021168

【提出日】 平成14年 9月27日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 H01S 5/16  
H01S 5/30

【発明者】

【住所又は居所】 大阪府大阪市阿倍野区長池町 2 2 番 2 2 号 シャープ株式会社内

【氏名】 大久保 伸洋

【特許出願人】

【識別番号】 000005049

【住所又は居所】 大阪府大阪市阿倍野区長池町 2 2 番 2 2 号

【氏名又は名称】 シャープ株式会社

【代理人】

【識別番号】 100064746

【弁理士】

【氏名又は名称】 深見 久郎

【選任した代理人】

【識別番号】 100085132

【弁理士】

【氏名又は名称】 森田 俊雄

【選任した代理人】

【識別番号】 100083703

【弁理士】

【氏名又は名称】 仲村 義平

【選任した代理人】

【識別番号】 100096781

【弁理士】

【氏名又は名称】 堀井 豊

【選任した代理人】

【識別番号】 100098316

【弁理士】

【氏名又は名称】 野田 久登

【選任した代理人】

【識別番号】 100109162

【弁理士】

【氏名又は名称】 酒井 将行

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 008693

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 0208500

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 半導体レーザ素子およびその製造方法

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 半導体基板、第一導電型の第一クラッド層、活性層、第二導電型の第二クラッド層および第二導型の保護層を含み、レーザ共振器端面近傍領域の活性層のフォトルミネッセンスのピーク波長がレーザ共振器内部領域の活性層のフォトルミネッセンスのピーク波長より小さい半導体レーザ素子であって、該レーザ共振器端面近傍領域の活性層には、第二導電性を有する第 1 の不純物原子と第二導電性を有する第 2 の不純物原子とが混在し、かつ、該第 1 の不純物原子が該第 2 の不純物原子より高濃度に存在していることを特徴とする半導体レーザ素子。

【請求項 2】 レーザ共振器端面近傍領域の第二クラッド層、および保護層においても、第二導電性を有する第 1 の不純物原子が第二導電性を有する第 2 の不純物原子より高濃度に存在していることを特徴とする請求項 1 に記載の半導体レーザ素子。

【請求項 3】 レーザ共振器端面近傍領域の活性層における第 2 の不純物原子の濃度が、 $1 \times 10^{16} \text{ atoms/cm}^3$  以上  $1 \times 10^{18} \text{ atoms/cm}^3$  以下であることを特徴とする請求項 1 または請求項 2 に記載の半導体レーザ素子。

【請求項 4】 第 1 の不純物原子が、活性層に近接した第二クラッド層に含まれる不純物原子と同一であることを特徴とする請求項 1 ～請求項 3 のいずれかに記載の半導体レーザ素子。

【請求項 5】 第一クラッド層が、Si 原子を含むことを特徴とする請求項 1 ～請求項 4 のいずれかに記載の半導体レーザ素子。

【請求項 6】 半導体基板が GaAs を含み、該半導体基板に積層される半導体層が AlGaInP 系材料を含むことを特徴とする請求項 1 ～請求項 5 のいずれかに記載の半導体レーザ素子。

【請求項 7】 第 1 の不純物原子が、Be であることを特徴とする請求項 1 ～請求項 6 のいずれかに記載の半導体レーザ素子。

【請求項 8】 第 2 の不純物原子が、Zn または Mg であることを特徴とす

る請求項 1 ～請求項 7 のいずれかに記載の半導体レーザ素子。

【請求項 9】 半導体基板上に、S i 原子を含有する第一導電型の第 1 クラッド層、活性層、第二導電性を有する第 1 の不純物原子を含む第二導電型の第二クラッド層、第二導電型の通電容易層および第二導電型の保護層を含む積層構造を成長させる工程と、

該積層構造を成長させたウエハのレーザ共振器端面近傍領域に第二導電性を有する第 2 の不純物原子を含む不純物拡散源膜を形成する工程と、

該ウエハの表面に、該不純物拡散源膜の膜厚より厚く、かつ、S i 原子を含む誘電体膜を形成する工程と、

該ウエハをアニールし、レーザ共振器端面近傍領域の該第二クラッド層に含まれる該第 1 の不純物原子とレーザ共振器端面近傍領域の該不純物拡散源膜に含まれる該第 2 の不純物原子とを活性層に拡散させることにより、レーザ共振器端面近傍領域の活性層のフォトルミネッセンスのピーク波長をレーザ共振器内部領域の活性層のフォトルミネッセンスのピーク波長より小さくする工程とを、

備えたことを特徴とする半導体レーザ素子の製造方法。

【請求項 1 0】 不純物拡散源膜が、 $Z n_x O_y$  (x および y は 1 以上の数) を含むことを特徴とする請求項 9 に記載の半導体レーザ素子の製造方法。

【請求項 1 1】 誘電体膜が、 $S i_x O_y$ 、 $S i_x N_y$  または  $S i_x O_y N_z$  (x、y および z は 1 以上の数) のいずれかを含むことを特徴とする請求項 9 または請求項 1 0 に記載の半導体レーザ素子の製造方法。

【請求項 1 2】 不純物拡散源膜の膜厚が、5 n m 以上 5 0 n m 以下であることを特徴とする請求項 9 ～請求項 1 1 のいずれかに記載の半導体レーザ素子の製造方法。

【請求項 1 3】 半導体基板上に、S i 原子を含有する第一導電型の第 1 クラッド層、活性層、第二導電性を有する第 1 の不純物原子を含む第二導電型の第二クラッド層、第二導電型の通電容易層および第二導電型の保護層を含む積層構造を成長させる工程と、

該積層構造を成長させたウエハのレーザ共振器端面近傍領域に第二導電性を有する第 2 の不純物原子と S i 原子を含む不純物拡散源膜を形成する工程と、

該ウエハをアニールし、レーザ共振器端面近傍領域の該第二クラッド層に含まれる該第 1 の不純物原子とレーザ共振器端面近傍領域の該不純物拡散源膜に含まれる該第 2 の不純物原子とを活性層に拡散させることにより、レーザ共振器端面近傍領域の活性層のフォトルミネッセンスのピーク波長をレーザ共振器内部領域の活性層のフォトルミネッセンスのピーク波長より小さくする工程とを、備えたことを特徴とする半導体レーザ素子の製造方法。

【請求項 1 4】 不純物拡散源膜が、 $Zn_xSi_yO_z$  ( $x$ 、 $y$  および  $z$  は 1 以上の数) を含むことを特徴とする請求項 1 3 に記載の半導体レーザ素子の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0 0 0 1】

【発明の属する技術分野】

本発明は、光ディスク用などに用いられる半導体レーザ素子およびその製造方法に関し、特に高出力動作特性に優れた窓構造半導体レーザ素子およびその製造方法に関するものである。

【0 0 0 2】

【従来の技術】

近年、光ディスク装置用光源として各種の半導体レーザが広汎に利用されている。特に、高出力半導体レーザは、DVD プレーヤ、DVD-RAM ドライブなどのディスクへの書き込み用光源として用いられており、さらなる高出力化が求められている。

【0 0 0 3】

半導体レーザの高出力化を制限している要因の一つは、レーザ共振器端面近傍の活性領域において光出力密度の増加に伴い発生する光学損傷 (COD; Catastrophic Optical Damage) である。

【0 0 0 4】

COD の発生は、レーザ共振器端面近傍の活性層領域がレーザ光に対する吸収領域になることに由来する。レーザ共振器端面では、表面準位または界面準位といわれる非発光再結合中心が多く存在し、レーザ共振器端面近傍の活性層に注入

されたキャリアはこの非発光再結合によって失われるので、レーザ共振器端面近傍の活性層の注入キャリア濃度は中央部に比べて少ない。その結果、中央部の高いキャリア濃度によって作られるレーザ光の波長に対して、レーザ共振器端面近傍の活性領域は吸収領域になる。光出力密度が高くなると吸収領域での局所的発熱が大きくなり、温度が上がってバンドギャップエネルギーが縮小する。その結果、さらに吸収係数が大きくなって温度が上昇するという正帰還がかかり、レーザ共振器端面近傍の吸収領域の温度はついに半導体材料の融点にまで達し、CODが発生する。

## 【0005】

半導体レーザの高出力化の一つの方法として、前記CODレベルを向上させるために、レーザ共振器端面近傍の多重量子井戸構造活性層を無秩序化して窓構造とする方法が提案されている（たとえば、特許文献1または特許文献2参照。）

## 【0006】

この窓構造を有する従来の半導体レーザ素子の構造概略図を図18に示す。図18において、図18(c)は光出射端面を含む斜視図であり、図中のBはレーザ共振器端面近傍の窓領域を示し、図中のAは該窓領域以外のレーザ発振領域（内部領域）を示す。また、図18(a)は図18(c)のA領域における断面図、図18(b)は図18(c)のB領域における断面図である。

## 【0007】

図18に示すように、窓構造を有する従来の半導体レーザ素子は、n型GaAs基板1001上に、n型AlGaInPクラッド層1002、MQW活性層（バリア層とウエル層が交互に積層された多重量子井戸構造を光ガイド層で挟み込む多重量子井戸活性層）1003、p型AlGaInPクラッド層1004およびp型GaAs第一コンタクト層1005が順次配置され、該p型AlGaInPクラッド層1004およびp型GaAs第一コンタクト層1005によってレーザ共振導波路となるストライプ状のリッジ1008が形成され、その側面を埋めるようにn型GaAs電流ブロック層1009が配置され、リッジ1008またはn型GaAs電流ブロック層1009の上にはp型GaAs第二コンタク

ト層1010およびp側電極1011が配置され、n型GaAs基板1001の下側にはn側電極1012が配置されている。

#### 【0008】

また、レーザ共振端面近傍領域のリッジ1008には、不純物拡散源膜であるZnO膜1006からのZn原子の拡散によって無秩序化された窓構造領域1013が形成されている。

#### 【0009】

図19～図22に窓構造を有する従来の半導体レーザ素子の製造工程図を示す。まず、図19に示すように、n型GaAs基板1001上に、n型AlGaInPクラッド層1002、アンドープのMQW（多重量子井戸；Multi-Quantum-Well）活性層1003、p型AlGaInPクラッド層1004、p型GaAs第一コンタクト層1005を順次形成する。ここで、p型AlGaInPクラッド層1004では、p型不純物としてZn原子がドーピングされている。

#### 【0010】

次に、図20に示すように、前記ウエハ上に、不純物拡散源膜であるZnO膜1006を全面に形成し、その後、半導体レーザの共振器端面に水平方向に伸びるストライプ状のレジストマスク1021を形成し、該窓領域B以外のレーザ発振領域に形成されたZnO膜1006をエッチングする。

#### 【0011】

次に、レジストマスク1021を除去し、さらに前記ウエハ上にSiO<sub>2</sub>膜1007を全面に形成した後に、半導体レーザの共振器端面に垂直に伸びるストライプ状のレジストマスク（図示せず）を形成し、電流ブロック領域に形成されたSiO<sub>2</sub>膜1007をエッチングする。その後、前記レジストマスク（図示せず）を除去し、図21に示すように、p型GaAs第一コンタクト層1005およびp型AlGaInPクラッド層1004の一部をエッチングし、リッジ1008を形成する。

#### 【0012】

その後、図22に示すように、n型GaAs電流ブロック層1009の埋め込み成長を行ない、さらにその後、SiO<sub>2</sub>膜1007を除去し、第二GaAsコ



ンタクト層 1 0 1 0 の成長を行なった後、該電流ブロック層成長時の 5 0 0 °C 以上で約 3 0 分間熱処理することにより、不純物拡散源膜である ZnO 膜 1 0 0 6 から Zn 原子が p 型 GaAs 第一コンタクト層 1 0 0 5、p 型 AlGaInP クラッド層 1 0 0 4 さらに MQW 活性層 1 0 0 3 に熱拡散すると、該 MQW 活性層 1 0 0 3 が無秩序化されて、窓構造領域 1 0 1 3 が形成される。その後、p 型電極 1 0 1 1 および n 型電極 1 0 1 2 を形成し、その後該ウエハをへき開して、図 1 8 に示す半導体レーザ素子を得る。

#### 【0 0 1 3】

上述のように、従来の窓構造半導体レーザ素子では、レーザ共振器端面近傍に形成された窓領域 B において、レーザ発振波長に相当するバンドギャップエネルギーよりも大きくなるように ZnO 膜 1 0 0 6 を形成し、熱拡散により MQW 活性層 1 0 0 3 への Zn 原子の拡散を行なっている。

#### 【0 0 1 4】

また、窓領域 B への Zn 原子の拡散を促進するとともに内部領域 A の活性層への Zn 原子の拡散を抑制するため、上記不純物拡散源膜 1 0 0 6 の上に Si 原子を含有する層を設けることも提案されている（たとえば、特許文献 3 参照。）。

#### 【0 0 1 5】

##### 【特許文献 1】

特開平 7 - 1 6 2 0 8 6 号公報

#### 【0 0 1 6】

##### 【特許文献 2】

特開平 1 1 - 2 8 4 2 8 0 号公報

#### 【0 0 1 7】

##### 【特許文献 3】

特開 2 0 0 1 - 9 4 2 0 6 号公報

#### 【0 0 1 8】

##### 【発明が解決しようとする課題】

ここで、光出射端面近傍の活性層のバンドギャップエネルギーをレーザ発振波長に相当するバンドギャップエネルギーよりも大きくなるようにするためには、

高温でのアニールを長時間行なう必要があるが、上記の従来方法では、不純物拡散源膜であるZnO膜1006から拡散する不純物原子と、p型AlGaInPクラッド層1004層にドーピングされている不純物原子が、ともにAlGaInP系材料における拡散定数が高いZn原子であるため、内部領域においてもZn原子がMQW活性層1003に拡散するので、高出力時の駆動電流または駆動電圧の上昇と長期信頼性の低下を招いていた。特許文献3の方法を用いても、上記の理由から、内部領域Aの活性層へのZn原子の拡散抑制は十分ではなかった。

#### 【0019】

一方、アニール温度を低下するかまたはアニール時間を短縮すれば、内部領域のMQW活性層へのZn原子の拡散を抑制することができるが、窓領域BでのMQW活性層1003へのZn原子の拡散が不十分となり、レーザ共振器端面近傍領域の活性層においてレーザ光を吸収し、CODが発生しやすくなるとともに、高出力駆動時の最大光出力の低下を引き起こし、十分な長期信頼性が得られない。

#### 【0020】

上記問題点を解決するため、本発明は、高出力時の駆動電流を低減し、かつ、長期信頼性に優れた半導体レーザ素子およびその製造方法を提供することを目的とする。

#### 【0021】

##### 【課題を解決するための手段】

上記目的を達成するため、本発明にかかる半導体レーザ素子は、半導体基板、第一導電型の第一クラッド層、活性層、第二導電型の第二クラッド層および第二導型の保護層を含み、レーザ共振器端面近傍領域の活性層のフォトルミネッセンスのピーク波長がレーザ共振器内部領域の活性層のフォトルミネッセンスのピーク波長より小さい半導体レーザ素子であって、該レーザ共振器端面近傍領域の活性層には、第二導電性を有する第1の不純物原子と第二導電性を有する第2の不純物原子とが混在し、かつ、該第1の不純物原子が該第2の不純物原子より高濃度に存在していることを特徴とする。また、本発明にかかる半導体レーザ素子は、さらに、レーザ共振器端面近傍領域の第二クラッド層、および保護層において

も、第二導電性を有する第1の不純物原子が第二導電性を有する第2の不純物原子より高濃度に存在していることが好ましい。

#### 【0022】

また、本発明にかかる半導体レーザ素子において、レーザ共振器端面近傍領域の活性層における第2の不純物原子の濃度は $1 \times 10^{16} \text{ atoms/cm}^3$ 以上 $1 \times 10^{18} \text{ atoms/cm}^3$ 以下であることが好ましく、第1の不純物原子は活性層に近接した第二クラッド層に含まれる不純物原子と同一であることが好ましく、第一クラッド層はSi原子を含むことが好ましく、半導体基板はGaAsを含み、該半導体基板に積層される半導体層はAlGaInP系材料を含むことが好ましい。さらに、本発明にかかる半導体レーザ素子において、第1の不純物原子はBeであること、第2の不純物原子はZnまたはMgであることが好ましい。

#### 【0023】

本発明にかかる半導体レーザ素子の製造方法は、半導体基板上に、Si原子を含有する第一導電型の第1クラッド層、活性層、第二導電性を有する第1の不純物原子を含む第二導電型の第二クラッド層、第二導電型の通電容易層および第二導電型の保護層を含む積層構造を成長させる工程と、該積層構造を成長させたウエハのレーザ共振器端面近傍領域に第二導電性を有する第2の不純物原子を含む不純物拡散源膜を形成する工程と、該ウエハの表面に、該不純物拡散源膜の膜厚より厚く、かつ、Si原子を含む誘電体膜を形成する工程と、該ウエハをアニールし、レーザ共振器端面近傍領域の該第二クラッド層に含まれる該第1の不純物原子とレーザ共振器端面近傍領域の該不純物拡散源膜に含まれる該第2の不純物原子とを活性層に拡散させることにより、レーザ共振器端面近傍領域の活性層のフォトルミネッセンスのピーク波長をレーザ共振器内部領域の活性層のフォトルミネッセンスのピーク波長より小さくする工程とを、備えたことを特徴とする。

#### 【0024】

また、前記半導体レーザ素子の製造方法において、不純物拡散源膜は $Zn_xO_y$  ( $x$ および $y$ は1以上の数)を含むことが好ましく、誘電体膜は $Si_xO_y$ 、 $Si_xN_y$ または $Si_xO_yN_z$  ( $x$ 、 $y$ および $z$ は1以上の数)のいずれかを含むこと

が好ましく、不純物拡散源膜の膜厚は 5 n m 以上 5 0 n m 以下であることが好ましい。

#### 【0025】

本発明にかかる半導体レーザー素子の製造方法は、半導体基板上に、S i 原子を含有する第一導電型の第 1 クラッド層、活性層、第二導電性を有する第 1 の不純物原子を含む第二導電型の第二クラッド層、第二導電型の通電容易層および第二導電型の保護層を含む積層構造を成長させる工程と、該積層構造を成長させたウエハのレーザー共振器端面近傍領域に第二導電性を有する第 2 の不純物原子と S i 原子を含む不純物拡散源膜を形成する工程と、該ウエハをアニールし、レーザー共振器端面近傍領域の該第二クラッド層に含まれる該第 1 の不純物原子とレーザー共振器端面近傍領域の該不純物拡散源膜に含まれる該第 2 の不純物原子とを活性層に拡散させることにより、レーザー共振器端面近傍領域の活性層のフォトルミネッセンスのピーク波長をレーザー共振器内部領域の活性層のフォトルミネッセンスのピーク波長より小さくする工程とを、備えたことを特徴とする。

#### 【0026】

また、前記半導体レーザー素子の製造方法において、不純物拡散源膜は  $Z n_x S i_y O_z$  (x、y および z は 1 以上の数) を含むことが好ましい。

#### 【0027】

##### 【発明の実施の形態】

本発明にかかる半導体レーザー素子は、半導体基板、第一導電型の第一クラッド層、活性層、第二導電型の第二クラッド層および第二導電型の保護層を含み、レーザー共振器端面近傍領域の活性層のフォトルミネッセンスのピーク波長がレーザー共振器内部領域の活性層のフォトルミネッセンスのピーク波長より小さい半導体レーザー素子であって、該レーザー共振器端面近傍領域の活性層には、第二導電性を有する第 1 の不純物原子と第二導電性を有する第 2 の不純物原子とが混在し、かつ、該第 1 の不純物原子が該第 2 の不純物原子より高濃度に存在しているものである。

#### 【0028】

ここで、第一導電型または第二導電型とは、レーザー半導体素子を構成する各層

の導電型を意味し、たとえば第 1 導電型を n 型とすると第二導電型は p 型となり、第 1 導電型を p 型とすると第二導電型は n 型となる。第一導電性または第二導電性とは、レーザ半導体素子を構成する各層に拡散された不純物原子の導電性を意味し、たとえば第一導電性を n 型導電性とすると第二導電性は p 型導電性となり、第一導電性を p 型導電性とすると第二導電性は n 型導電性となる。なお、第一導電型と第一導電性、第二導電型と第二導電性は、それぞれ同一の型を意味し、第一導電型と第一導電性を n 型とすると、第二導電型と第二導電性は p 型となる。

## 【 0 0 2 9 】

また、第 1 の不純物原子とは、クラッド層および MQW 活性層を構成する材料、特に AlGaInP 系材料における拡散定数が小さい不純物原子をいい、代表的なものとして Be が挙げられる。第 2 の不純物原子とは、クラッド層および MQW 活性層を構成する材料、特に AlGaInP 系材料における拡散定数が大きい不純物原子をいい、Zn または Mg などが挙げられる。Zn 原子は Mg 原子に比べ、拡散定数が大きく拡散量の制御性に優れている点から、より好ましい。

## 【 0 0 3 0 】

第 1 および第 2 の 2 つの不純物原子によって活性層を無秩序化するため、活性層を無秩序化する工程におけるアニール温度の低温化が可能となり、レーザ共振器内部領域の第二クラッド層に存在する第 1 の不純物原子の活性層への拡散を抑制することが可能となり、高出力時の駆動電流を低減できるからである。また、第 1 の不純物原子が第 2 の不純物原子より高濃度に存在することにより、ウエハ面内における窓領域の波長シフトのバラツキを抑制することができるからである。

## 【 0 0 3 1 】

また、本発明にかかる半導体レーザ素子において、レーザ共振器端面近傍領域の第二クラッド層、および保護層においても、第二導電性を有する第 1 の不純物原子が第二導電性を有する第 2 の不純物原子より高濃度に存在していることが好ましい。第 2 の不純物原子の拡散定数は、第 1 の不純物原子に比べて大きいため、上記構成により、レーザ共振器内部領域側への第 2 の不純物原子の拡散を抑制

することができ、レーザ共振器内部領域の活性層の無秩序化および結晶性の劣化を防止できるため、発振波長の短波長化を抑制し、高出力駆動における長期信頼性を向上することができるからである。

#### 【 0 0 3 2 】

また、本発明にかかる半導体レーザ素子において、レーザ共振器端面近傍領域（窓領域）の活性層における第2の不純物原子の濃度は、 $1 \times 10^{16} \text{ atoms/cm}^3$ 以上 $1 \times 10^{18} \text{ atoms/cm}^3$ 以下であることが好ましい。第2の不純物原子の濃度が $1 \times 10^{16} \text{ atoms/cm}^3$ 未満であると、レーザ共振器内部領域の活性層への第1および第2の不純物原子の拡散を制御できるが、ウエハ面内での窓領域に波長シフト量のバラツキが大きくロット間の再現性が低下する。他方、第2の不純物原子の濃度が $1 \times 10^{18} \text{ atoms/cm}^3$ を超えると、窓領域の波長シフト量の制御は可能であるが、内部領域の活性層に第1および第2の不純物原子が拡散し、駆動電流の増大を招くからである。

#### 【 0 0 3 3 】

また、本発明にかかる半導体レーザ素子において、第1の不純物原子は活性層に近接した第二クラッド層に含まれる不純物原子と同一であることが好ましい。かかる構成とすることにより、レーザ共振器端面近傍領域の活性層に近接する第二クラッド層に活性層を無秩序化する第二導電性を有する第1の不純物原子が存在するので、アニール温度の低温化またはアニール時間の短縮化が可能となり、高出力時の駆動電流が低減され、高出力駆動における長期信頼性が向上し、CODの発生を防止することができるからである。

#### 【 0 0 3 4 】

また、本発明にかかる半導体レーザ素子において、第一クラッド層はSi原子を含むことが好ましい。かかる構成とすることにより、第一導電型の第一クラッド層への、第二導電性を有する第1および第2の不純物原子の拡散を抑制できるので、高出力時の駆動電流の低減を図ることができるからである。

#### 【 0 0 3 5 】

また、本発明にかかる半導体レーザ素子において、半導体基板はGaAsを含み、該半導体基板に積層される半導体層はAlGaInP系材料を含むことが好

ましい。上記材料を用いることにより、所望の発振波長を持つ半導体レーザ素子が得られるからである。

【 0 0 3 6 】

また、本発明にかかる半導体レーザ素子において、第1の不純物原子はB eであることが好ましい。A l G a I n P系材料におけるB e原子の拡散定数は小さいので、上記構成とすることにより、窓領域形成時にアニールを行なっても、レーザ共振器内部領域の活性層への拡散を抑制することができ、高出力時の駆動電流の低減、長期信頼性の向上およびC O D防止を図れるからである。

【 0 0 3 7 】

また、本発明にかかる半導体レーザ素子において、第2の不純物原子はZ nまたはM gであることが好ましい。Z n原子はM g原子に比べ、拡散定数が大きく拡散量の制御性に優れている点から、より好ましい。A l G a I n P系材料におけるZ n原子またはM g原子の拡散定数はB e原子に比べて大きいので、上記構成とすることにより、窓領域形成時のアニール温度の低温化が可能となり、レーザ共振器内部領域の活性層への拡散を抑制することができ、高出力時の駆動電流の低減、長期信頼性の向上およびC O D防止を図れるからである。

【 0 0 3 8 】

本発明にかかる半導体レーザ半導体素子の製造方法は、半導体基板上に、S i原子を含有する第一導電型の第1クラッド層、活性層、第二導電性を有する第1の不純物原子を含む第二導電型の第二クラッド層、第二導電型の通電容易層および第二導電型の保護層を含む積層構造を成長させる工程と、該積層構造を成長させたウエハのレーザ共振器端面近傍領域に第二導電性を有する第2の不純物原子を含む不純物拡散源膜を形成する工程と、該ウエハの表面に、該不純物拡散源膜の膜厚より厚く、かつ、S i原子を含む誘電体膜を形成する工程と、該ウエハをアニールし、レーザ共振器端面近傍領域の該第二クラッド層に含まれる該第1の不純物原子とレーザ共振器端面近傍領域の該不純物拡散源膜に含まれる該第2の不純物原子とを活性層に拡散させることにより、レーザ共振器端面近傍領域の活性層のフォトルミネッセンスのピーク波長をレーザ共振器内部領域の活性層のフォトルミネッセンスのピーク波長より小さくする工程とを、備える。

## 【 0 0 3 9 】

本発明のかかる構成により、不純物拡散源膜に含まれる第2の不純物原子を加速的に拡散できるので、アニール温度の低温化が図れるからである。またアニール温度の低温化によって、レーザ共振器内部領域の活性層への第二導電性を示す第1の不純物原子の拡散を抑制することができるからである。

## 【 0 0 4 0 】

また、前記半導体レーザ素子の製造方法において、不純物拡散源膜は $Zn_xO_y$ （ $x$ および $y$ は1以上の数）を含むことが好ましい。パウダー状で非晶質に近い $Zn_xO_y$ （ $x$ および $y$ は1以上の数）膜を用いることにより、窓領域を形成するアニール時において、エピタキシャルされた各層間における熱膨張係数の差によるストレスの発生を抑制できるからである。また、第2の不純物原子の拡散とともに第1の不純物原子の拡散を促進して、レーザ共振器端面近傍領域（窓領域）の活性層を無秩序化することができるからである。

## 【 0 0 4 1 】

また、前記半導体レーザ素子の製造方法において、誘電体膜は $Si_xO_y$ 、 $Si_xN_y$ または $Si_xO_yN_z$ （ $x$ 、 $y$ および $z$ は1以上の数）のいずれかを含むことが好ましい。誘電体膜中に $Zn$ 原子の拡散を抑制する $Si$ 原子を含むため、かかる構成により、効率良く $Zn$ 原子をレーザ共振器端面近傍領域の活性層（窓領域）まで拡散させることが可能となるからである。

## 【 0 0 4 2 】

また、前記の半導体レーザ素子の製造方法において、不純物拡散源膜の膜厚は5 nm以上50 nm以下であることが好ましい。膜厚が5 nm未満であると不純物拡散源膜中の不純物原子の数が減少するため、膜厚が50 nmを超えるとパウダー状で非晶質に近い性状のため、いずれの場合も不純物拡散源膜としての機能が低下するからである。

## 【 0 0 4 3 】

本発明にかかる半導体レーザ半導体素子の製造方法は、本発明にかかる半導体レーザ素子の製造方法は、半導体基板上に、 $Si$ 原子を含有する第一導電型の第1クラッド層、活性層、第二導電性を有する第1の不純物原子を含む第二導電型



の第二クラッド層、第二導電型の通電容易層および第二導電型の保護層を含む積層構造を成長させる工程と、該積層構造を成長させたウエハのレーザ共振器端面近傍領域に第二導電性を有する第2の不純物原子とSi原子を含む不純物拡散源膜を形成する工程と、該ウエハをアニールし、レーザ共振器端面近傍領域の該第二クラッド層に含まれる該第1の不純物原子とレーザ共振器端面近傍領域の該不純物拡散源膜に含まれる該第2の不純物原子とを活性層に拡散させることにより、レーザ共振器端面近傍領域の活性層のフォトルミネッセンスのピーク波長をレーザ共振器内部領域の活性層のフォトルミネッセンスのピーク波長より小さくする工程とを、備える。かかる構成により、工程の簡略化を行なうことができるとともに、レーザ共振器端面近傍領域の活性層（窓領域）への第1および第2の不純物原子の拡散を促進し、レーザ共振器内部領域の活性層への第1の不純物原子の拡散を抑制できるからである。

【 0 0 4 4 】

また、前記の半導体レーザ素子の製造方法において、第2の不純物原子と Si 原子を含む不純物拡散源膜は、 $Zn_xSi_yO_z$  ( $x$ 、 $y$  および  $z$  は 1 以上の数) であることが好ましい。かかる膜を用いることにより、アニール時の Zn 原子の外部拡散を抑制し、レーザ共振器端面近傍領域の活性層（窓領域）への Zn 原子の拡散を促進できるからである。

【 0 0 4 5 】

## [第 1 の実施の形態]

本発明の実施の形態を、図面に基づいて以下に詳細に説明する。図１に本発明にかかる第１の実施の形態における半導体レーザ素子の構造概略図を示す。ここで、図１（ａ）は光出射端面を含む斜視図を、図１（ｂ）は図１（ａ）のⅠａ－Ⅰａ’線における断面図を、図１（ｃ）は図１（ａ）のⅠｂ－Ⅰｂ’線における断面図を示す。

【 0 0 4 6 】

図１に示すように、本実施形態の半導体レーザ素子は、 $n$ 型GaAs基板１０１上に、 $n$ 型Ga<sub>y</sub>In<sub>z</sub>P（ $y$ および $z$ は $y+z=1$ を満たす０～１の数、以下同じ）バッファ層１０２、 $n$ 型Al<sub>x</sub>Ga<sub>y</sub>In<sub>z</sub>P（ $x$ 、 $y$ および $z$ は $x+y+$

$z=1$ を満たす $0\sim 1$ の数、以下同じ)第1クラッド層103、MQW活性層(バリヤ層とウエル層が交互に積層された多重量子井戸構造を光ガイド層で挟んでなる多重量子井戸活性層)104、p型 $Al_xGa_yIn_zP$ 第二クラッド層105およびp型エッチングストップ層106が順次配置され、該p型エッチングストップ層106上に、共振器方向にリッジストライプ形状のp型 $Al_xGa_yIn_zP$ 第三クラッド層107、p型 $Ga_yIn_zP$ 中間層108およびp型GaAs保護層109が配置され、該p型 $Al_xGa_yIn_zP$ 第三クラッド層107の側面を埋めるようにn型 $Al_xIn_zP$ ( $x$ および $z$ は $x+z=1$ を満たす $0\sim 1$ の数、以下同じ)電流ブロック(狭窄)層110が配置され、該p型GaAs保護層109またはn型 $Al_xIn_zP$ 電流ブロック層110の上にはp型GaAsコンタクト層111およびp側電極112が配置され、n型GaAs基板101の下側にはn側電極113が配置されている。

## 【0047】

ここで、MQW活性層104において、窓領域(レーザ共振器端面近傍領域のMQW活性層)104Bのフォトルミネッセンスのピーク波長は、活性領域(レーザ共振器内部領域のMQW活性層)104Aのフォトルミネッセンスのピーク波長より小さくなるように設計されている。また、p型GaAs保護層109の窓領域の上側には電流非注入領域114が設けられており、p型 $Al_xGa_yIn_zP$ 第三クラッド層107、p型 $Ga_yIn_zP$ 中間層108およびp型GaAs保護層109によってレーザ共振導波路となるストライプ状のリッジ115が形成されている。

## 【0048】

図2～図7に本発明にかかる第1の実施の形態における半導体レーザ素子の製造工程図を示す。まず、図2に示すように、n型GaAs基板101(キャリア濃度 $2\times 10^{18} \text{ atoms/cm}^3$ )上に、順次分子線エピタキシー(MBE)法にて、n型 $Ga_yIn_zP$ バッファ層102(キャリア濃度 $1\times 10^{18} \text{ atoms/cm}^3$ )、n型 $Al_xGa_yIn_zP$ 第1クラッド層103(キャリア濃度 $1\times 10^{18} \text{ atoms/cm}^3$ )、MQW活性層104、p型 $Al_xGa_yIn_zP$ 第二クラッド層105(キャリア濃度 $2\times 10^{18} \text{ atoms/cm}^3$ )、p型エッチ

ングストップ層106 (キャリア濃度  $2 \times 10^{18} \text{ atoms/cm}^3$ )、p型  $\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{In}_z\text{P}$  第三クラッド層107 (キャリア濃度  $2 \times 10^{18} \text{ atoms/cm}^3$ )、p型  $\text{Ga}_y\text{In}_z\text{P}$  中間層108 (キャリア濃度  $5 \times 10^{18} \text{ atoms/cm}^3$ ) およびp型GaAs保護層109 (キャリア濃度  $1 \times 10^{19} \text{ atoms/cm}^3$ ) を成長させた。このとき、n型GaAs基板101、n型  $\text{Ga}_y\text{In}_z\text{P}$  バッファ層102およびn型  $\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{In}_z\text{P}$  第1クラッド層103の各層にはキャリア原子としてSi原子が含まれ、p型  $\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{In}_z\text{P}$  第二クラッド層105、p型エッチングストップ層106、p型  $\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{In}_z\text{P}$  第三クラッド層107、p型  $\text{Ga}_y\text{In}_z\text{P}$  中間層108およびp型GaAs保護層109の各層にはキャリア原子としてp型導電性を有するBe原子が含まれている。

## 【0049】

次に、図3に示すように、公知のフォトリソグラフィ技術を用いて、レーザ共振器近傍領域のp型GaAs保護層109の表面にリッジストライプと直交する方向に幅  $60 \mu\text{m}$ 、膜厚  $35 \text{ nm}$  のストライプ状の不純物拡散源膜である  $\text{Zn}_x\text{O}_y$  ( $x$  および  $y$  は1以上の数、以下同じ) 膜116を形成した後、ウエハ全面にSi原子を含む誘電体膜である  $\text{Si}_x\text{O}_y$  ( $x$  および  $y$  は1以上の数、以下同じ) 膜117を膜厚が  $200 \text{ nm}$  になるように形成した。なお、 $\text{Zn}_x\text{O}_y$  膜116のストライプのピッチは、共振器長と同じ  $800 \mu\text{m}$  とした。

## 【0050】

次に、前記  $\text{Zn}_x\text{O}_y$  膜116が形成された前記ウエハを窒素雰囲気下、温度  $510^\circ\text{C}$ 、保持時間2時間の条件でアニールを行ない、 $\text{Zn}_x\text{O}_y$  膜116に含まれるZn原子を窓領域104Bまで拡散させるとともに、p型  $\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{In}_z\text{P}$  第二クラッド層105、p型エッチングストップ層106、p型  $\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{In}_z\text{P}$  第三クラッド層107、p型  $\text{Ga}_y\text{In}_z\text{P}$  中間層108およびp型GaAs保護層109の各層に含まれるBe原子をMQW活性層104全体に拡散させ、窓領域104Bのフォトルミネッセンスのピーク波長を活性領域104Aのフォトルミネッセンスのピーク波長よりも小さくさせた。

## 【0051】

その後、図4に示すように、p型GaAs保護層109上に形成された  $\text{Zn}_x$

$\text{O}_y$ 膜116および $\text{Si}_x\text{O}_y$ 膜117を除去し、公知のフォトリソグラフィ技術を用いて、p型GaAs保護層109上にレーザ共振器端面に垂直方向に伸びたストライプ状のレジストマスク118を形成し、公知のエッチング技術を用いて、p型エッチングストップ層106に到達するように、p型GaAs保護層109、p型 $\text{Ga}_y\text{In}_z\text{P}$ 中間層108およびp型 $\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{In}_z\text{P}$ 第三クラッド層107を約 $3\mu\text{m}$ 幅のストライプ状のリッジ115に加工した。

## 【0052】

次に、p型GaAs保護層109上に形成されたストライプ上のレジストマスク118を除去し、図5に示すように、2回目のMBE法により、リッジ115の側面をn型 $\text{Al}_x\text{In}_z\text{P}$ 電流ブロック層110で埋め込んだ。

## 【0053】

その後、公知のフォトリソグラフィ技術を用いてリッジ115の側面に形成されたn型 $\text{Al}_x\text{In}_z\text{P}$ 電流ブロック層110の表面にレジストマスク（図示せず）を形成し、公知のエッチング技術を用いてレジストマスク（図示せず）開口部のリッジ115上に形成されたn型 $\text{Al}_x\text{In}_z\text{P}$ 電流ブロック層110を選択的に除去した。

## 【0054】

次に、n型 $\text{Al}_x\text{In}_z\text{P}$ 電流ブロック層110上に形成されたレジストマスク（図示せず）を除去し、図6に示すように、再度、公知のフォトリソグラフィ技術を用いて、レーザ共振器内部領域にレーザ共振器内部領域に幅 $740\mu\text{m}$ のレジストマスク120を形成し、レジストマスク120開口部のp型GaAs保護層109およびp型 $\text{Ga}_y\text{In}_z\text{P}$ 中間層108を選択的に除去した。なお、レジストマスク120の開口部は、窓領域104Bの真上に位置するように形成されている。

## 【0055】

その後、図7に示すように、レーザ共振器内部領域に形成されたレジストマスク120を除去し、3回目のMBE法でp型GaAsコンタクト層111を形成した。このとき、図6において選択的に除去されたp型GaAs保護層109およびp型 $\text{Ga}_y\text{In}_z\text{P}$ 中間層108の部分に、レーザ共振器端面近傍領域におけ

る p 型  $Al_xGa_yIn_zP$  第三クラッド層 107 とレーザ共振器内部領域における p 型  $GaAs$  保護層 109 との間で生じたバンドギャップエネルギー差によって、電流非注入領域 114 が形成される。この電流非注入領域 114 は、窓領域 104B の真上に位置するため、窓領域 104B への電流注入を防ぎ、発光に寄与しない無効電流を低減する。

## 【0056】

次に、 $60\mu m$  幅のレーザ共振器端面近傍領域のほぼ中央部分にスクライブラインを入れて、共振器の長さにバー状に分割し、最後にバーの両側の光出射に反射膜をコーティングし、さらにチップに分割して、長さ  $800\mu m$  の共振器のレーザ共振器端面部に約  $30\mu m$  の窓領域および電流非注入領域を有した半導体レーザ素子を作製した。

## 【0057】

上記製造方法によって、図 3 に示した工程を終了しさらにアニールした後に得られた本実施形態における半導体レーザ素子のリッジ内部のレーザ共振器端面近傍領域での  $Be$  原子および  $Zn$  原子の深さ方向の濃度分布を図 8 に、レーザ共振器内部領域での  $Be$  原子および  $Zn$  原子の深さ方向の濃度分布を図 9 に示す。 $Be$  原子および  $Zn$  原子の深さ方向の分布は、2 次イオン質量分析装置 (SIMS) により測定した。図 8 および図 9 において、横軸に p 型  $GaAs$  保護層 109 からの深さ ( $\mu m$ ) を、縦軸に不純物原子濃度 ( $atoms/cm^3$ ) をとり、破線は  $Be$  原子の、実線は  $Zn$  原子の深さ方向の濃度分布を表している。

## 【0058】

図 8 に示すように、窓領域 104B には、p 型  $Al_xGa_yIn_zP$  第二クラッド層 105、p 型エッチングストップ層 106、p 型  $Al_xGa_yIn_zP$  第三クラッド層 107、p 型  $Ga_yIn_zP$  中間層 108 および p 型  $GaAs$  保護層 109 の各層から拡散した  $Be$  原子と、不純物拡散源膜である  $Zn_xO_y$  膜 116 から拡散した  $Zn$  原子が混在しており、このうち  $Zn$  原子の濃度は  $8 \times 10^{16} atoms/cm^3$  であった。また、窓領域 104B から p 型  $GaAs$  保護層 109 までの各層において、 $Be$  原子が  $Zn$  原子より高濃度存在していることが確認できた。

## 【 0 0 5 9 】

すなわち、上記製造方法を用いることにより、窓領域 1 0 4 B、レーザ共振器端面近傍領域の第二導電型の第二クラッド層（p 型  $\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{In}_z\text{P}$  第二クラッド層 1 0 5）、および第二導電型の保護層（p 型  $\text{GaAs}$  保護層 1 0 9）において、第二導電性を有する第 1 の不純物原子（Be 原子）の濃度を第二導電性を有する第 2 の不純物原子（Zn 原子）の濃度より高濃度にできることを確認した。

## 【 0 0 6 0 】

また、図 9 に示すように、活性領域 1 0 4 A から p 型  $\text{GaAs}$  保護層 1 0 9 までの各層において、Zn 原子の混入は見られなかった。このことから、レーザ共振器端面領域に第二導電性を有する第 2 の不純物原子（Zn 原子）を含む不純物拡散膜（ $\text{Zn}_x\text{O}_y$  膜 1 1 6）を形成する工程と、該不純物拡散源膜（ $\text{Zn}_x\text{O}_y$  膜 1 1 6）の膜厚より厚く、かつ、Si 原子を含む誘導体膜（ $\text{Si}_x\text{O}_y$  膜 1 1 7）を形成する工程を備える上記製造方法を用いることにより、レーザ共振器内部領域の MQW 活性層（活性領域 1 0 4 A）への、第二導電性を有する第 1 の不純物原子（Be 原子）の拡散抑制と、レーザ共振器内部領域（活性領域 1 0 4 A、p 型  $\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{In}_z\text{P}$  第二クラッド層 1 0 5、p 型  $\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{In}_z\text{P}$  第三クラッド層 1 0 7 および p 型  $\text{GaAs}$  保護層 1 0 9 の各層）への、第二導電性を有する第 2 の不純物原子（Zn 原子）の拡散抑制ができることを確認した。

## 【 0 0 6 1 】

上記本実施の形態の半導体レーザ素子の製造方法における、図 3 に示した工程を終了しさらにアニールした後のウエハの一部について、フォトルミネッセンス（PL）法を用いて、窓領域 1 0 4 B と活性領域 1 0 4 A のそれぞれの波長を測定した。

## 【 0 0 6 2 】

また、比較のために、上記本実施の形態の半導体レーザ素子の製造方法において、Si 原子を含む誘導体膜である  $\text{Si}_x\text{O}_y$  膜 1 1 7 の膜厚を 2 0 nm に変更して不純物拡散源膜である  $\text{Zn}_x\text{O}_y$  膜 1 1 6（膜厚 3 5 nm）より薄くした場合の第 1 の比較用ウエハ（比較形態 1）と、Si を含む誘導体膜である  $\text{Si}_x\text{O}_y$  膜 1

17をSi原子を含まない誘電体膜である $Al_xO_y$ 膜（xおよびyは1以上の数、以下同じ）に変更した場合の第2の比較用ウエハ（比較形態2）についても、同時にPL法にて、窓領域104Bと活性領域104Aのそれぞれの波長を測定した。

#### 【0063】

その結果、本実施形態における窓領域104Bからの発光スペクトルは活性領域104Aからの発光スペクトルよりも38nm短波長側に波長シフトしていた。また、比較形態1においては窓領域からの発光スペクトルは活性領域からの発光スペクトルよりも5nm短波長側に波長シフトし、比較形態2においては窓領域からの発光スペクトルは活性領域からの発光スペクトルよりも10nm短波長側に波長シフトしていた。

#### 【0064】

このことから、アニール条件が同じである場合、レーザ共振器端面近傍領域に第二導電性を有する第2の不純物原子（Zn原子）を含む不純物拡散源膜（ $Zn_xO_y$ 膜116）を形成する工程と、該不純物拡散源膜（ $Zn_xO_y$ 膜116）の膜厚より厚く、かつ、Si原子を含む誘導体膜（ $Si_xO_y$ 膜117）を形成する工程を備える上記製造方法を用いることにより、不純物拡散源膜（ $Zn_xO_y$ 膜116）に含まれる第2の不純物原子（Zn原子）を加速的に拡散させることができるため、レーザ共振器端面近傍領域のMQW活性層（窓領域104B）のフォトルミネッセンスのピーク波長をレーザ共振器内部領域のMQW活性層（活性領域104A）のフォトルミネッセンスのピーク波長より十分小さくできることが確認できた。特に、不純物拡散源膜（ $Zn_xO_y$ 膜116）の上に、Si原子を含む誘電体膜（ $Si_xO_y$ 膜117）を形成する工程を備えることにより、アニール時のZn原子の外部拡散を抑制でき、効率良くZn原子を窓領域104Bまで拡散できる。

#### 【0065】

また、不純物拡散膜源として $Zn_xO_y$ 膜116を用いることは、窓領域104Bへの第2の不純物原子（Zn原子）の拡散とともに第1の不純物原子（Be原子）の拡散をも促進し、窓領域の無秩序化を促進するため、窓領域104Bのフ

フォトルミネッセンスのピーク波長を活性領域 1 0 4 A のフォトルミネッセンスのピーク波長より十分小さくする観点からも好ましい。

#### 【 0 0 6 6 】

次に、上記本実施形態における半導体レーザ素子の製造方法において、レーザ共振器端面近傍領域に形成する不純物拡散源膜である  $Zn_xO_y$  膜 1 1 6 の膜厚と、活性領域のピーク波長に対する窓領域のピーク波長の低波長側への波長シフト量の関係を図 1 0 に示す。図 1 0 の横軸は不純物拡散源膜である  $Zn_xO_y$  膜 1 1 6 の膜厚 (nm) を表し、縦軸は活性領域の波長に対する窓領域の波長シフト量 (nm) を表す。図 1 0 に示すように、 $Zn_xO_y$  膜 1 1 6 の膜厚が 5 nm 以上 5 0 nm 以下の膜厚において、活性領域波長に対する窓領域の波長は 3 0 nm 以上低波長側へシフトした。

#### 【 0 0 6 7 】

これは、不純物拡散膜源である  $Zn_xO_y$  膜が、パウダー状で非晶質に近い物質であり、不純物拡散源膜としての機能が発現するためにはある程度薄い膜厚で Si 原子を含む誘電体膜と半導体膜に挟まれている必要があり、 $Zn_xO_y$  膜 1 1 6 の膜厚が 5 0 nm を超える場合は不純物拡散源膜としての機能が低下するからである。また、 $Zn_xO_y$  膜 1 1 6 の膜厚が 5 nm 未満である場合は、不純物拡散源膜に十分な Zn 原子が存在しないため、アニールによって Zn 原子が窓領域 1 0 4 B まで到達しないからである。

#### 【 0 0 6 8 】

また、上記製造方法を用いて、 $Zn_xO_y$  膜 1 1 6 の膜厚が 5 nm 以上 5 0 nm 以下の範囲で製造された半導体レーザ素子の最大光出力試験を行なったところ、3 0 0 mW の光出力においても COD は発生しなかった。

#### 【 0 0 6 9 】

次に、上記の本実施形態の製造方法によって得られた半導体レーザ素子の特性測定を行なった。また、比較のために、上記の本実施形態の製造方法において、アニール時間を 2 時間から 1 時間に短縮し、Zn 原子を窓領域 1 0 4 B まで拡散させずに、窓領域 1 0 4 B には Be 原子のみが存在する第 3 の比較用半導体レーザ素子（比較形態 3）と、アニール温度を 5 1 0 °C から 6 5 0 °C に上げて、窓領



域 1 0 4 B における B e 原子濃度を Z n 原子濃度より低濃度にした第 4 の比較用半導体レーザ素子（比較形態 4）の特性測定も同時に行なった。

#### 【 0 0 7 0 】

その結果、連続出力波（C W ; Continuous Wave）5 0 mW における、本実施形態および比較形態 3 の半導体レーザ素子の発振波長は 6 5 5 n m、比較形態 4 の半導体レーザ素子の発振波長は 6 5 0 n m であった。また、C W 5 0 mW における、本実施形態および比較形態 3 の半導体レーザ素子の駆動電流は 9 0 m A、比較形態 4 の半導体レーザ素子の駆動電流は 1 5 0 m A であった。さらに、最大出力試験を行なうと、本実施形態および比較形態 3 の半導体レーザ素子は 3 0 0 mW の光出力においても C O D は発生しなかったが、比較形態 4 の半導体レーザ素子は 2 5 0 mW で C O D が発生した。また、雰囲気温度 7 0 °C 下 5 0 m A の信頼性試験を行なうと、比較形態 3 の半導体レーザ素子の平均寿命は 1 0 0 0 時間、比較形態 4 の半導体レーザ素子の平均寿命は 1 0 0 時間であるのに対し、本実施形態の半導体レーザ素子の平均寿命は 2 0 0 0 時間であった。

#### 【 0 0 7 1 】

このことから、レーザ共振器端面近傍領域の MQW 活性層（窓領域 1 0 4 B）には第二導電性を有する第 1 の不純物原子（B e 原子）と第二導電性を有する第 2 の不純物原子（Z n 原子）とが混在し、かつ、該第 1 の不純物原子（B e 原子）が該第 2 の不純物原子（Z n 原子）より高濃度に存在する構成を有する本実施形態の半導体レーザ素子において、駆動電流の低電流化と長期信頼性の向上を確認できた。かかる駆動電流の低電流化と長期信頼性の向上は、上記構成を有することにより、レーザ共振器端面近傍領域の MQW 活性層（窓領域 1 0 4 B）において、第 2 の不純物原子（Z n 原子）とともに第 1 の不純物原子（B e 原子）の拡散を促進して窓領域を無秩序化するため、アニール温度に低温化が可能となり、第 1 の不純物原子（B e 原子）のレーザ共振器内部領域の MQW 活性層（活性領域 1 0 4 A）への拡散が抑制されたことによるものである。

#### 【 0 0 7 2 】

また、レーザ共振器端面近傍領域の第二導電型の第二クラッド層（p 型  $\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{In}_z\text{P}$  第二クラッド層 1 0 5）、および第二導電型の保護層（p 型 G a A

s 保護層 109) において、第 1 の不純物原子 (Be 原子濃度) が、第二導電性を有する第 2 の不純物原子濃度 (Zn 原子濃度) より高濃度である構成を有する本実施形態の半導体レーザ素子において、発振波長の短波長化の抑制と長期信頼性の向上を確認できた。かかる発振波長の短波長化の抑制と長期信頼性の向上は、上記構成を有することにより、レーザ共振器端面近傍領域に存在する第二導電性を有する第 2 の不純物原子 (Zn 原子) のレーザ共振器内部領域側への拡散を抑制し、第二導電性を有する第 2 の不純物原子 (Zn 原子) によるレーザ共振器内部領域の MQW 活性層 (活性領域 104 A) の無秩序化および結晶性劣化を抑制したことによるものである。

## 【0073】

また、第二導電性を有する第 1 の不純物原子 (Be 原子) が、前記活性層に近接した第二導電型の第二クラッド層に含まれる不純物原子と同一である構成を有する本実施形態の半導体レーザ素子において、駆動電流の低電流化と長期信頼性の向上を確認できた。かかる駆動電流の低電流化と長期信頼性の向上は、上記構成を有することにより、レーザ共振器端面近傍領域において、第二導電性を有する第 1 の不純物原子 (Be 原子) の活性層まで拡散する距離を短くでき、その結果、アニール温度の低温化が可能となり、レーザ共振器内部領域において、第二導電型の第二クラッド層に存在する第二導電性を示す第 1 の不純物原子 (Be 原子) の活性層 (活性領域 104 A) への拡散を抑制したことによるものである。

## 【0074】

また、第一導電型の第一クラッド層 ( $n$  型  $Al_xGa_yIn_zP$  第 1 クラッド層 103) が Si 原子を含む構成を有する本実施形態の半導体レーザ素子において、駆動電流の低電流化を確認できた。かかる駆動電流の低電流化は、第一導電型の第一クラッド層 ( $n$  型  $Al_xGa_yIn_zP$  第 1 クラッド層 103) に含まれる Si 原子が、レーザ共振器端面近傍領域の MQW 活性層 (窓領域 104 B) に混在する、第二導電性を有する第 1 及び第 2 の不純物原子 (Be 原子及び Zn 原子) の第一導電型の第一クラッド層 ( $n$  型  $Al_xGa_yIn_zP$  第 1 クラッド層 103) 側への拡散を抑制し、レーザ共振器端面近傍領域の MQW 活性層 (窓領域 104 B) での無効電流を低減したことによるものである。

## 【 0 0 7 5 】

また、第二導電性を有する第 1 の不純物原子が、B e である構成を有する本実施形態の半導体レーザ素子において、駆動電流の低電流化を確認できた。かかる駆動電流の低電流化は、A l G a I n P 系材料における拡散定数が小さい B e 原子を用いることにより、窓領域形成時に行われるアニール時の、レーザ共振器内部領域の MQW 活性層（活性領域 1 0 4 A）への拡散を抑制したことによるものである。

## 【 0 0 7 6 】

また、第二導電性を有する第 2 の不純物原子が、亜鉛（Z n）である構成としている、本実施の形態の半導体レーザ素子において、長期信頼性の向上を確認できた。かかる長期信頼性の向上は、A l G a I n P 系材料における拡散定数が大きい Z n 原子を用いることにより、窓領域形成時に行われるアニール温度の低温化が可能となり、レーザ共振器端面近傍領域の MQW 活性層（窓領域 1 0 4 B）への第二導電性を有する第 1 及び第 2 の不純物原子（B e 原子及び Z n 原子）の拡散が促進され、C O D の発生が抑制されたことによるものである。

## 【 0 0 7 7 】

また、第二導電性を有する第 2 の不純物原子を含む不純物拡散源膜が、 $Z n_x O_y$ （ $x$  および  $y$  は 1 以上の数）である構成を有する本実施形態の半導体レーザ素子の製造方法において、長期信頼性の向上を確認できた。かかる長期信頼性の向上は、パウダー状で非晶質に近い物質である、 $Z n_x O_y$ （ $x$  および  $y$  は 1 以上の数）膜を用いることにより、窓領域を形成するアニール時において、各物質（各結晶）間での熱膨張係数差に由来するエピタキシャルされたウエハへのストレスの発生を抑制したことによるものである。

## 【 0 0 7 8 】

本実施形態では、不純物拡散源膜である  $Z n_x O_y$  膜 1 1 6 の膜厚より厚く、且つ、S i 原子を含む誘電体膜として、 $S i_x O_y$  膜 1 1 7 を用いたが、 $S i_x N_y$  又は  $S i_x O_y N_z$ （ $x$ 、 $y$  および  $z$  は 1 以上、以下同じ）膜を用いても、Z n 原子の拡散を抑制する効果がある S i 原子を含むので、アニール時の Z n 原子の外部拡散（Z n 原子抜け）を抑制でき、効率よく Z n 原子をレーザ共振器端面近傍領

域の活性層まで拡散させることが可能となり、再現性良く、所望の半導体レーザー素子を得られる効果が得られる。

## 【 0 0 7 9 】

本実施形態では、レーザー共振器端面近傍領域のMQW活性層（窓領域104B）に混在している、第二導電性を有する第2の不純物原子（Zn原子）の濃度を $8 \times 10^{16} \text{ atoms/cm}^3$ としたが、前記レーザー共振器端面近傍領域のMQW活性層（窓領域104B）に混在する第二導電性を有する第2の不純物原子（Zn原子）の濃度が $1 \times 10^{16} \text{ atoms/cm}^3$ 以下である場合、第二導電性を有する第1、第2の不純物原子（Be, Zn原子）のレーザー共振器内部領域のMQW活性層（活性領域104A）への拡散を制御出来るが、ウエハ面内でのレーザー共振器端面近傍領域のMQW活性層（窓領域104B）の波長シフト量のバラツキが大きく、ロット間のレーザー共振器端面近傍領域のMQW活性層（窓領域104B）の波長シフト量の再現性が得られない。また、前記に混在する第二導電性を有する第2の不純物原子（Zn原子）の濃度が $1 \times 10^{18} \text{ atoms/cm}^3$ 以上である場合、レーザー共振器端面近傍領域のMQW活性層（窓領域104B）の波長シフト量の制御は可能であるが、第二導電性を有する第1、第2の不純物原子（Be, Zn原子）がレーザー共振器内部領域のMQW活性層（活性領域104A）へ拡散してしまい、駆動電流の増大を招いてしまう。従って、前記レーザー共振器端面近傍領域のMQW活性層（窓領域104B）に混在する第二導電性を有する第2の不純物原子（Zn原子）の濃度を $1 \times 10^{16} \text{ atoms/cm}^3$ 以上 $1 \times 10^{18} \text{ atoms/cm}^3$ 以下の範囲内で適宜調整することにより、第二導電性を有する第2の不純物原子（Zn原子）によるレーザー共振器端面近傍領域のMQW活性層（窓領域104B）の波長シフト量を制御することができ、また、レーザー共振器端面近傍領域のMQW活性層（窓領域104B）に存在する第二導電性を有する第2の不純物原子（Zn原子）がレーザー共振器内部領域のMQW活性層（活性領域104A）へ拡散しないように制御できるので、駆動電流の低電流化と長期信頼性の向上が可能となる。

## 【 0 0 8 0 】

本実施形態では、リッジ115内部のレーザー共振器端面近傍領域のp型Ga<sub>y</sub>

$\text{In}_z\text{P}$  中間層 108、 $\text{p}$  型  $\text{GaAs}$  保護層 109 を選択的に除去して形成された、電流非注入領域 114 としているが、リッジ 115 上に形成されたレーザ共振器端面近傍領域の  $\text{n}$  型  $\text{Al}_x\text{In}_z\text{P}$  電流ブロック層 110 を電流非注入領域 114 として用いても、窓領域への電流注入を防ぎ、発光に寄与しない無効電流が低減されるので、上記と同様の効果が得られる。

## 【0081】

本実施形態では、 $\text{Zn}_x\text{O}_y$  膜 116 及び  $\text{Si}_x\text{O}_y$  膜 117 を形成直後にアニールを 1 回実施しているが、2 回目の MBE 法によって、リッジ 115 の側面を  $\text{n}$  型  $\text{Al}_x\text{In}_z\text{P}$  電流ブロック層 110 で埋め込んだ後に、2 回目のアニールを行えば、リッジ 115 内部に存在する  $\text{Be}$  原子を活性化することができ、本実施の形態の半導体レーザ素子の長期信頼性の向上が可能となる。

## 【0082】

## [第 2 の実施の形態]

図 11 に本発明にかかる第 2 の実施の形態における半導体レーザ素子の構造概略図を示す。ここで、図 11 (a) は光出射端面を含む斜視図を、図 11 (b) は図 11 (a) の  $\text{Ia}-\text{Ia}'$  線における断面図を、図 11 (c) は図 11 (a) の  $\text{Ib}-\text{Ib}'$  線における断面図を示す。

## 【0083】

図 11 に示すように、本実施形態の半導体レーザ素子は、 $\text{n}$  型  $\text{GaAs}$  基板 201 上に、 $\text{n}$  型  $\text{Ga}_y\text{In}_z\text{P}$  ( $y$  および  $z$  は  $y+z=1$  を満たす  $0\sim 1$  の数、以下同じ) バッファ層 202、 $\text{n}$  型  $\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{In}_z\text{P}$  ( $x$ 、 $y$  および  $z$  は  $x+y+z=1$  を満たす  $0\sim 1$  の数、以下同じ) 第 1 クラッド層 203、MQW 活性層 (バリア層とウエル層が交互に積層された多重量子井戸構造を光ガイド層で挟んでなる多重量子井戸活性層) 204、 $\text{p}$  型  $\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{In}_z\text{P}$  第二クラッド層 205 および  $\text{p}$  型エッチングストップ層 206 が順次配置され、該  $\text{p}$  型エッチングストップ層 206 上に、共振器方向にリッジストライプ形状の  $\text{p}$  型  $\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{In}_z\text{P}$  第三クラッド層 207、 $\text{p}$  型  $\text{Ga}_y\text{In}_z\text{P}$  中間層 208 および  $\text{p}$  型  $\text{GaAs}$  保護層 209 が配置され、該  $\text{p}$  型  $\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{In}_z\text{P}$  第三クラッド層 207 の側面を埋めるように  $\text{n}$  型  $\text{Al}_x\text{In}_z\text{P}$  ( $x$  および  $z$  は  $x+z=1$  を満たす  $0\sim 1$

の数、以下同じ) 電流ブロック (狭窄) 層 210 が配置され、該 p 型 GaAs 保護層 209 または n 型  $\text{Al}_x\text{In}_z\text{P}$  電流ブロック層 210 の上には p 型 GaAs コンタクト層 211 および p 側電極 212 が配置され、n 型 GaAs 基板 101 の下側には n 側電極 213 が配置されている。

## 【0084】

ここで、MQW 活性層 204 において、窓領域 (レーザ共振器端面近傍領域の MQW 活性層) 204B のフォトルミネッセンスのピーク波長は、活性領域 (レーザ共振器内部領域の MQW 活性層) 204A のフォトルミネッセンスのピーク波長より小さくなるように設計されている。また、p 型 GaAs 保護層 209 の窓領域の上側には n 型  $\text{Al}_x\text{In}_z\text{P}$  電流ブロック層 210 からなる電流非注入領域 214 が設けられており、p 型  $\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{In}_z\text{P}$  第三クラッド層 207、p 型  $\text{Ga}_y\text{In}_z\text{P}$  中間層 208 および p 型 GaAs 保護層 209 によってレーザ共振導波路となるストライプ状のリッジ 215 が形成されている。

## 【0085】

図 12～図 17 に本発明にかかる第 2 の実施の形態における半導体レーザ素子の製造工程図を示す。まず、図 12 に示すように、n 型 GaAs 基板 201 (キャリア濃度  $2 \times 10^{18} \text{ atoms/cm}^3$ ) 上に、順次分子線エピタキシー (MBE) 法にて、n 型  $\text{Ga}_y\text{In}_z\text{P}$  バッファ層 202 (キャリア濃度  $1 \times 10^{18} \text{ atoms/cm}^3$ )、n 型  $\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{In}_z\text{P}$  第 1 クラッド層 203 (キャリア濃度  $1 \times 10^{18} \text{ atoms/cm}^3$ )、MQW 活性層 204、p 型  $\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{In}_z\text{P}$  第二クラッド層 205 (キャリア濃度  $2 \times 10^{18} \text{ atoms/cm}^3$ )、p 型エッチングストップ層 206 (キャリア濃度  $2 \times 10^{18} \text{ atoms/cm}^3$ )、p 型  $\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{In}_z\text{P}$  第三クラッド層 207 (キャリア濃度  $2 \times 10^{18} \text{ atoms/cm}^3$ )、p 型  $\text{Ga}_y\text{In}_z\text{P}$  中間層 208 (キャリア濃度  $5 \times 10^{18} \text{ atoms/cm}^3$ ) および p 型 GaAs 保護層 209 (キャリア濃度  $1 \times 10^{19} \text{ atoms/cm}^3$ ) を成長させた。このとき、n 型 GaAs 基板 201、n 型  $\text{Ga}_y\text{In}_z\text{P}$  バッファ層 202 および n 型  $\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{In}_z\text{P}$  第 1 クラッド層 203 の各層にはキャリア原子として Si 原子が含まれ、p 型  $\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{In}_z\text{P}$  第二クラッド層 205、p 型エッチングストップ層 206、p 型  $\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{In}_z$

P 第三クラッド層 2 0 7、p 型  $\text{Ga}_y\text{In}_z\text{P}$  中間層 2 0 8 および p 型  $\text{GaAs}$  保護層 2 0 9 の各層にはキャリア原子として p 型導電性を有する  $\text{Be}$  原子が含まれている。

## 【 0 0 8 6 】

次に、図 1 3 に示すように、公知のフォトリソグラフィ技術を用いて、レーザ共振器端面近傍領域の p 型  $\text{GaAs}$  保護層 2 0 9 の表面に、リッジストライプと直交する方向に幅  $60\mu\text{m}$ 、膜厚  $35\text{nm}$  のストライプ状の不純物拡散源膜である  $\text{Zn}_x\text{Si}_y\text{O}_z$  ( $x$ ,  $y$  および  $z$  は 1 以上の数、以下同じ) 膜 2 1 6 を形成する。なお、 $\text{Zn}_x\text{Si}_y\text{O}_z$  膜 2 1 6 のストライプのピッチは共振器長と同じ  $800\mu\text{m}$  とした。

## 【 0 0 8 7 】

次に、 $\text{Zn}_x\text{Si}_y\text{O}_z$  膜 2 1 6 が形成された前記ウエハを、第 1 の実施の形態と同じアニール条件（窒素雰囲気、温度  $510^\circ\text{C}$ 、保持時間 2 時間）にてアニールを行い、 $\text{Zn}_x\text{Si}_y\text{O}_z$  膜 2 1 6 に含まれる  $\text{Zn}$  原子を MQW 活性層 2 0 4 までは拡散させるとともに、p 型  $\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{In}_z\text{P}$  第二クラッド層 2 0 5、p 型エッチングストップ層 2 0 6、p 型  $\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{In}_z\text{P}$  第三クラッド層 2 0 7、p 型  $\text{Ga}_y\text{In}_z\text{P}$  中間層 2 0 8 および p 型  $\text{GaAs}$  保護層 2 0 9 の各層に含まれる  $\text{Be}$  原子も、同時に MQW 活性層 2 0 4 まで拡散させ、窓領域（レーザ共振器端面近傍領域の MQW 活性層）2 0 4 B のフォトルミネッセンスのピーク波長を活性領域（レーザ共振器内部領域の MQW 活性層）2 0 4 A のフォトルミネッセンスのピーク波長よりも小さくさせた。

## 【 0 0 8 8 】

その後、図 1 4 に示すように、p 型  $\text{GaAs}$  保護層 2 0 9 上に形成された  $\text{Zn}_x\text{Si}_y\text{O}_z$  膜 2 1 6 を除去し、公知のフォトリソグラフィ技術を用いて、p 型  $\text{GaAs}$  保護層 2 0 9 上にレーザ共振器端面に垂直方向へ伸びたストライプ状のレジストマスク 2 1 7 を形成し、公知のエッチング技術を用いて、p 型エッチングストップ層 2 0 6 に到達するように、p 型  $\text{GaAs}$  保護層 2 0 9 と p 型  $\text{Ga}_y\text{In}_z\text{P}$  中間層 2 0 8 と p 型  $\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{In}_z\text{P}$  第 3 クラッド層 2 0 7 を約  $3\mu\text{m}$  幅のストライプ状のリッジ 2 1 5 に加工した。

## 【 0 0 8 9 】

次に、p型GaAs保護層209上に形成されたストライプ状のレジストマスク217を除去し、図15に示すように、2回目のMBE法によって、p型 $Al_xGa_yIn_zP$ 第3クラッド層207、p型 $Ga_yIn_zP$ 中間層208、p型GaAs保護層209からなるリッジ215の側面をn型 $Al_xIn_zP$ 電流ブロック層210で埋め込んだ。

## 【 0 0 9 0 】

その後、図16に示すように、公知のフォトリソグラフィ技術を用いて、リッジ215の側面に形成されたn型 $Al_xIn_zP$ 電流ブロック層210、およびリッジ215上に形成されたn型 $Al_xIn_zP$ 電流ブロック層210の幅60 $\mu m$ のストライプ状のレーザ共振器端面近傍領域にレジストマスク218を形成し、公知のエッチング技術を用いて、レジストマスク218開口部のn型 $Al_xIn_zP$ 電流ブロック層210を選択的に除去した。

## 【 0 0 9 1 】

本実施形態における半導体レーザ素子の製造方法においては、リッジ215上に形成されたn型 $Al_xIn_zP$ 電流ブロック層210を除去する工程が、電流非注入領域214の形成工程を兼ねるので、工程数の削減が可能となっており、さらに、前記プロセスによって形成された電流非注入領域214が、窓領域204Bの直上に位置しているので、窓領域への電流注入を防ぎ、窓領域でのキャリア損失を抑えられるので、発光に寄与しない無効電流が低減される。

## 【 0 0 9 2 】

その後、レーザ共振器内部領域に形成されたレジストマスク218を除去し、図17に示すように、3回目のMBE法でp型GaAsコンタクト層211を形成した。さらに、該ウエハの上面にはp電極212を、下面にはn電極213を形成した。

## 【 0 0 9 3 】

次に、60 $\mu m$ 幅のレーザ共振器端面近傍領域のほぼ中央にスクライブラインを入れて、共振器の長さにはバー状に分割し、最後にバーの両側の光出射に反射膜をコーティングし、さらにチップに分割して、長さ800 $\mu m$ の共振器のレーザ



共振器端面部に約  $30\ \mu\text{m}$  の窓領域及び電流非注入領域を有した半導体レーザ素子を作製した。

#### 【0094】

上記製造方法において、図13に示した工程を終了しさらにアニールした後に得られた本実施形態の半導体レーザ素子のリッジ内部のレーザ共振器端面近傍領域でのBe原子およびZn原子の深さ方向分布を2次イオン質量分析(SIMS)装置で測定した結果、窓領域204Bには、Be原子とZn原子とが混在しており、このうちZn原子の濃度は、 $2 \times 10^{17}\ \text{atoms/cm}^3$ であった。また、窓領域204Bからp型GaAs保護層209までの各層において、Be原子がZn原子より高濃度存在していることを確認した。

#### 【0095】

すなわち、上記製造方法を用いることにより、窓領域104Bにおいて、第二導電性を有する第1の不純物原子(Be原子)と第二導電性を有する第2の不純物原子(Zn原子)とを混在させ、且つ、第二導電性を有する第1の不純物原子(Be原子)を第二導電性を有する第2の不純物原子(Zn原子)より高濃度に行うことができることを確認した。

#### 【0096】

また、上記製造方法を用いることにより、レーザ共振器端面近傍領域の第二導電型の第二クラッド層(p型 $\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{In}_z\text{P}$ 第2クラッド層205)、及び第二導電型の保護層(p型GaAs保護層209)において、第二導電性を有する第1の不純物原子濃度(Be原子濃度)を第二導電性を有する第2の不純物原子濃度(Zn原子濃度)より高濃度に行うことができることを確認した。

#### 【0097】

また、上記製造方法を用いることにより、レーザ共振器内部領域の第二導電型の第二クラッド層(p型 $\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{In}_z\text{P}$ 第2クラッド層205)に存在する、第二導電性を示す第1の不純物原子(Be原子)の活性層への拡散を抑制できることを確認した。

#### 【0098】

上記の本実施形態の製造方法において、図13に示した工程を終了しさらにア

ニールした後のウエハの一部を、P L 法にて窓領域 2 0 4 B と活性領域 2 0 4 A のそれぞれの波長を測定した。

【0 0 9 9】

また、比較のために、レーザ共振器端面近傍領域に  $Zn_xO_y$  膜 1 1 6 を形成し、その上に、前記  $Si_xO_y$  膜 1 1 7 を形成する、第 1 の実施の形態の製造方法を用いた、図 3 に示した工程を終了しさらにアニールした後のウエハも同時に、P L 法にて、窓領域 1 0 4 B と活性領域 1 0 4 A のそれぞれの波長を測定した。

【0 1 0 0】

その結果、本実施形態における窓領域 2 0 4 B からの発光スペクトルは、活性領域 2 0 4 A からの発光スペクトルよりも 5 0 n m 短波長側に波長シフトしており、第 1 の実施の形態における窓領域 1 0 4 B からの発光スペクトルは、活性領域 1 0 4 A からの発光スペクトルよりも 3 8 n m 短波長側に波長シフトしていた。

【0 1 0 1】

このことから、アニール条件が同じである場合、レーザ共振器端面近傍領域に第二導電性を有する第 2 の不純物原子 ( $Zn$  原子) と  $Si$  原子を含む  $Zn_xSi_yO_z$  膜 2 1 6 を形成する工程を備える本実施の形態の製造方法を用いることにより、工程の簡略化を行うことができ、且つ、アニール時の  $Zn$  原子の外部拡散 ( $Zn$  原子抜け) の抑制と、窓領域 2 0 4 B への拡散促進が可能となり、効率良く、窓領域 2 0 4 B のフォトルミネッセンスのピーク波長を活性領域 1 0 4 A のフォトルミネッセンスのピーク波長より十分小さくできることが確認できた。

【0 1 0 2】

上記の本実施形態の製造方法によって得られた半導体レーザ素子の特性測定を行った。また、比較のために、レーザ共振器端面近傍領域に  $Zn_xO_y$  膜 1 1 6 を形成し、その上に、前記  $Si_xO_y$  膜 1 1 7 を形成する、第 1 の実施の形態の製造方法を用いた半導体レーザ素子も同時に特性測定も同時に行った。

【0 1 0 3】

その結果、C W 5 0 m W での発振波長は本実施形態及び第 1 の実施の形態の半導体レーザ素子ともに 6 5 5 n m であり、C W 5 0 m W での駆動電流 ( $I_{op}$ )

は本実施の形態及び第1の実施の形態の半導体レーザ素子ともに90mAであった。

#### 【0104】

また、最大光出力試験の結果は、本実施形態及び第1の実施の形態の半導体レーザ素子ともに300mW以上の光出力においてもCODフリーであり、これらを70℃50mWの信頼性試験を行ったところ、第1の実施の形態の半導体レーザ素子の平均寿命は2000時間、本実施の形態の半導体レーザ素子では約3000時間と平均寿命が1.5倍も向上した。このことより、レーザ共振器端面近傍領域に第二導電性を有する第2の不純物原子（Zn原子）とSi原子を含む $Zn_xSi_yO_z$ 膜を形成する工程を備える本実施形態の製造方法を用いた半導体レーザ素子では、更なる長期信頼性の向上が可能であることが確認できた。

#### 【0105】

本実施形態では、窓領域204Bに混在している、第二導電性を有する第2の不純物原子（Zn原子）の濃度を $2 \times 10^{17} \text{ atoms/cm}^3$ としたが、前記窓領域204Bに混在する第二導電性を有する第2の不純物原子（Zn原子）の濃度を $1 \times 10^{16} \text{ atoms/cm}^3$ 以上 $1 \times 10^{18} \text{ atoms/cm}^3$ 以下の範囲内で適宜調整することにより、第二導電性を有する第2の不純物原子（Zn原子）による窓領域204Bの波長シフト量を制御することができ、また、レーザ共振器端面近傍領域の活性層（窓領域204B）に存在する第二導電性を有する第2の不純物原子（Zn原子）がレーザ共振器内部領域の活性層（活性領域204A）へ拡散しないように制御できるので、駆動電流の低電流化と長期信頼性の向上が可能となる。

#### 【0106】

本実施形態では、アニール時において、レーザ共振器内部領域のp型GaAs保護層209の上には何も成膜されていないが、 $Al_xO_y$ 、 $Si_xO_y$ 、 $Si_xN_y$ 、 $Si_xO_yN_z$ 等の誘電体膜がレーザ共振器内部領域のp型GaAs保護層209の上に形成されていても、上記と同様の効果が得られる。

#### 【0107】

本実施形態では、リッジ215上に形成されたレーザ共振器端面近傍領域のn

型  $\text{Al}_x\text{In}_z\text{P}$  電流ブロック層 210 を電流非注入領域 214 としているが、リッジ 215 内部のレーザ共振器端面近傍領域の p 型  $\text{Ga}_y\text{In}_z\text{P}$  中間層 208、p 型  $\text{GaAs}$  保護層 209 を選択的に除去して形成された、電流非注入領域であっても、窓領域への電流注入を防ぎ、発光に寄与しない無効電流が低減されるので、上記と同様の効果が得られる。

#### 【0108】

本実施の形態では、 $\text{Zn}_x\text{Si}_y\text{O}_z$  膜 216 を形成直後にアニールを 1 回実施しているが、2 回目の MBE 法によって、リッジ 215 の側面を n 型  $\text{Al}_x\text{In}_z\text{P}$  電流ブロック層 210 で埋め込んだ後に、2 回目のアニールを行えば、リッジ 215 内部に存在する Be 原子を活性化することができ、本実施形態の半導体レーザ素子の長期信頼性の向上が可能となる。

#### 【0109】

今回開示された実施の形態はすべての点で例示であって制限的なものではないと考えられるべきである。本発明の範囲は、上記した説明でなくて特許請求の範囲によって示され、特許請求の範囲と均等の意味および範囲内のすべての変更が含まれることが意図される。

#### 【0110】

##### 【発明の効果】

以上説明したように、本発明によれば、半導体レーザ素子の窓領域への第 2 の不純物原子および第 1 の不純物原子の拡散が促進されるため、窓領域の無秩序化の際のアニール温度を下げるができる。また、本発明によれば、活性領域への第 2 の不純物原子の拡散が抑制されるため、活性領域における無秩序化および結晶性劣化を抑制して、発振波長の短波長化を抑制し、高出力時の駆動電流が低減し、高出力駆動においても COD の発生がなく、長期信頼性に優れた半導体レーザ素子を提供することができる。

##### 【図面の簡単な説明】

【図 1】 本発明にかかる第 1 の実施の形態における半導体レーザ素子の構造概略図である。

【図 2】 本発明にかかる第 1 の実施の形態における半導体レーザ素子の製

造工程図である。

【図 3】 図 2 の後に続く製造工程図である。

【図 4】 図 3 の後に続く製造工程図である。

【図 5】 図 4 の後に続く製造工程図である。

【図 6】 図 5 の後に続く製造工程図である。

【図 7】 図 6 の後に続く製造工程図である。

【図 8】 本発明にかかる第 1 の実施の形態における半導体レーザ素子のリッジ内部のレーザ共振器端面近傍領域での B e 原子および Z n 原子の深さ方向の濃度分布を示す図である。

【図 9】 本発明にかかる第 1 の実施の形態における半導体レーザ素子のリッジ内部のレーザ共振器内部領域での B e 原子および Z n 原子の深さ方向の濃度分布を示す図である。

【図 1 0】 本発明にかかる第 1 の実施の形態における半導体レーザ素子の製造方法において、レーザ共振器端面近傍領域に形成する不純物拡散源膜である  $Z n_x O_y$  膜 1 1 6 の膜厚と、活性領域のピーク波長に対する窓領域のピーク波長の低波長側への波長シフト量の関係を示す図である。

【図 1 1】 本発明にかかる第 2 の実施の形態における半導体レーザ素子の構造概略図である。

【図 1 2】 本発明にかかる第 2 の実施の形態における半導体レーザ素子の製造工程図である。

【図 1 3】 図 1 2 の後に続く製造工程図である。

【図 1 4】 図 1 3 の後に続く製造工程図である。

【図 1 5】 図 1 4 の後に続く製造工程図である。

【図 1 6】 図 1 5 の後に続く製造工程図である。

【図 1 7】 図 1 6 の後に続く製造工程図である。

【図 1 8】 窓構造を有する従来の半導体レーザ素子の構造概略図である。

【図 1 9】 窓構造を有する従来の半導体レーザ素子の製造工程図である。

【図 2 0】 図 1 9 の後に続く製造工程図である。

【図 2 1】 図 2 0 の後に続く製造工程図である。

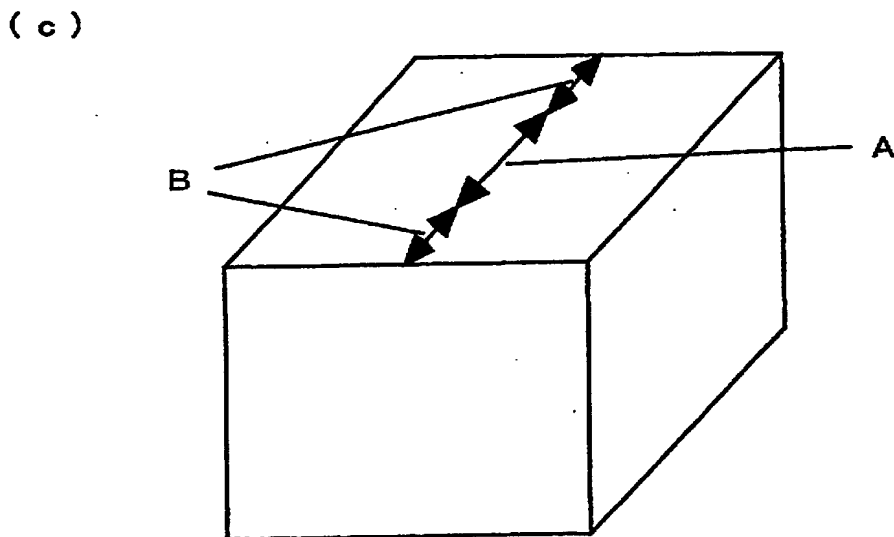
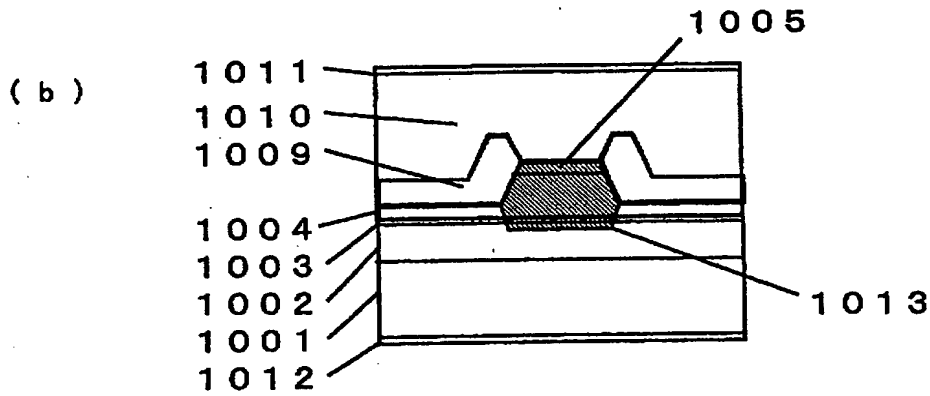
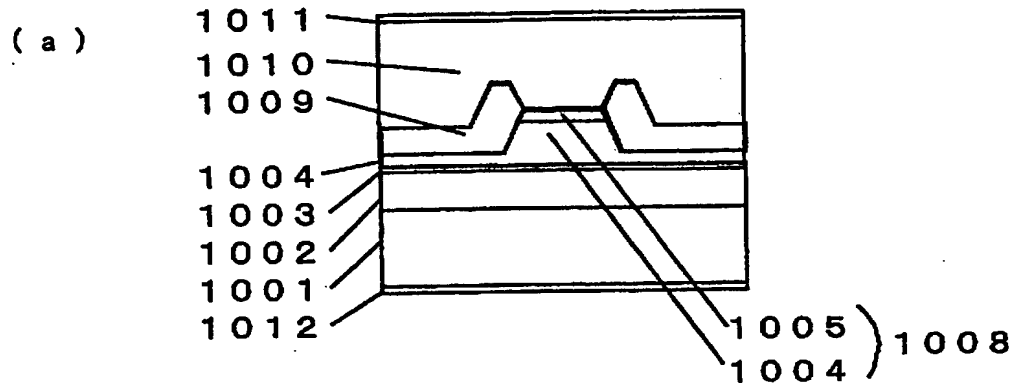
【図 22】 図 21 の後に続く製造工程図である。

【符号の説明】

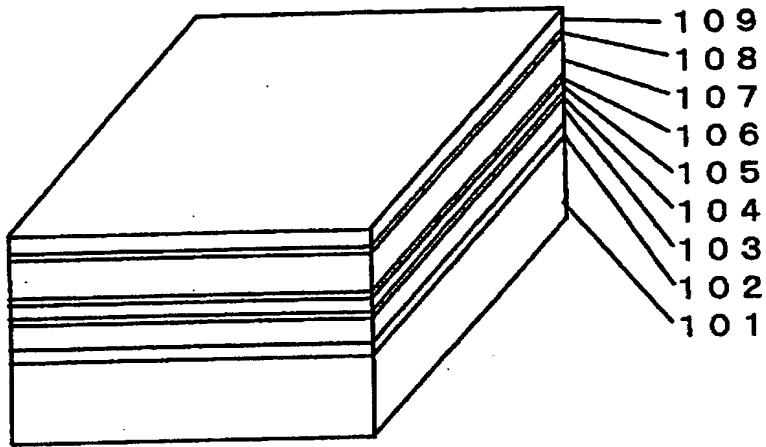
101, 201, 1001 n型GaAs基板、102, 202 n型Ga<sub>y</sub>In<sub>z</sub>Pバッファ層、103, 203 n型Al<sub>x</sub>Ga<sub>y</sub>In<sub>z</sub>P第1クラッド層、104, 204, 1003 MQW活性層、104A, 204A 活性領域、104B, 204B 窓領域、105, 205 p型Al<sub>x</sub>Ga<sub>y</sub>In<sub>z</sub>P第二クラッド層、106, 206 p型エッチングストップ層、107, 207 p型Al<sub>x</sub>Ga<sub>y</sub>In<sub>z</sub>P第三クラッド層、108, 208 p型Ga<sub>y</sub>In<sub>z</sub>P中間層、109, 209 p型GaAs保護層、110, 210 n型Al<sub>x</sub>In<sub>z</sub>P電流ブロック層、111, 211 p型GaAsコンタクト層、112, 212, 1011 p側電極、113, 213, 1012 n側電極、114, 214 電流非注入領域、115, 215, 1008 リッジ、116 Zn<sub>x</sub>O<sub>y</sub>膜、117 Si<sub>x</sub>O<sub>y</sub>膜、118, 120, 217, 218, 1021 レジストマスク、216 Zn<sub>x</sub>Si<sub>y</sub>O<sub>z</sub>膜、1002 n型AlGaInPクラッド層、1004 p型AlGaInPクラッド層、1005 p型GaAs第一コンタクト層、1009 n型GaAs電流ブロック層、1010 p型GaAs第二コンタクト層、1013 窓構造領域。

【書類名】 図面

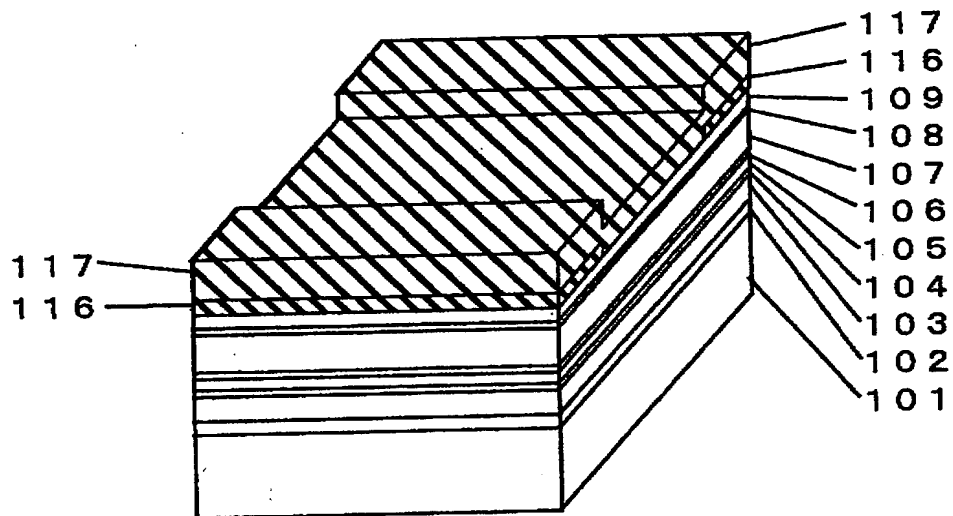
【図1】



【図 2】

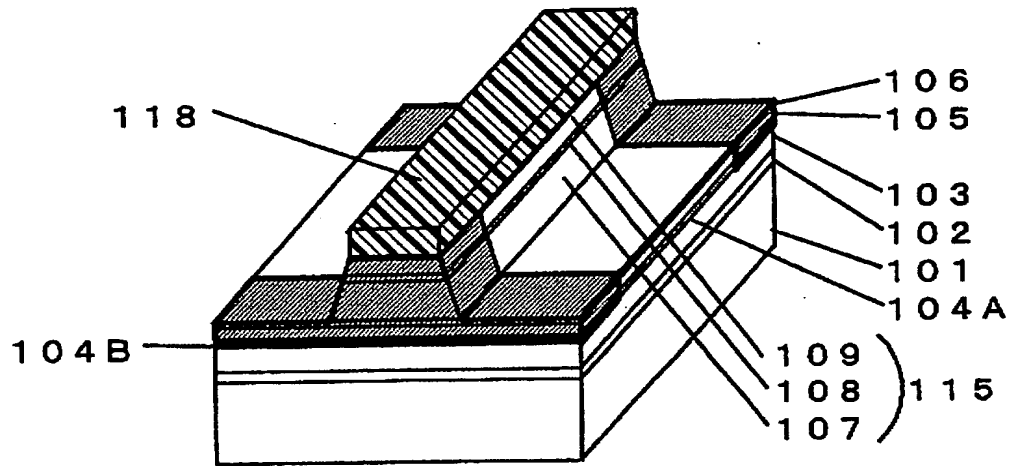


【図 3】

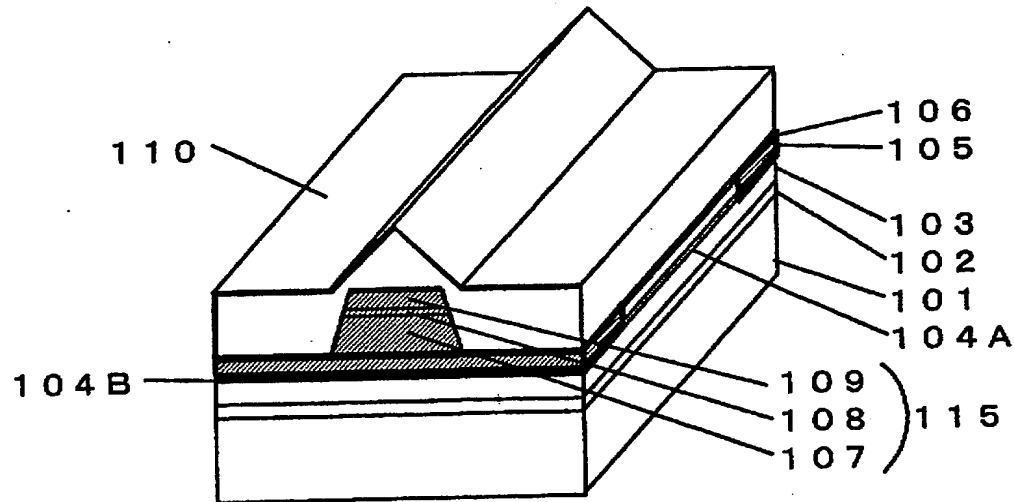




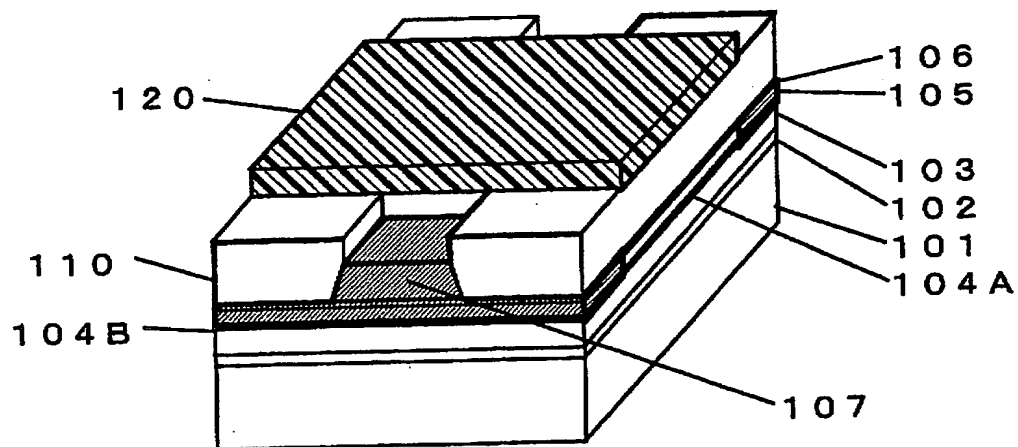
【図4】



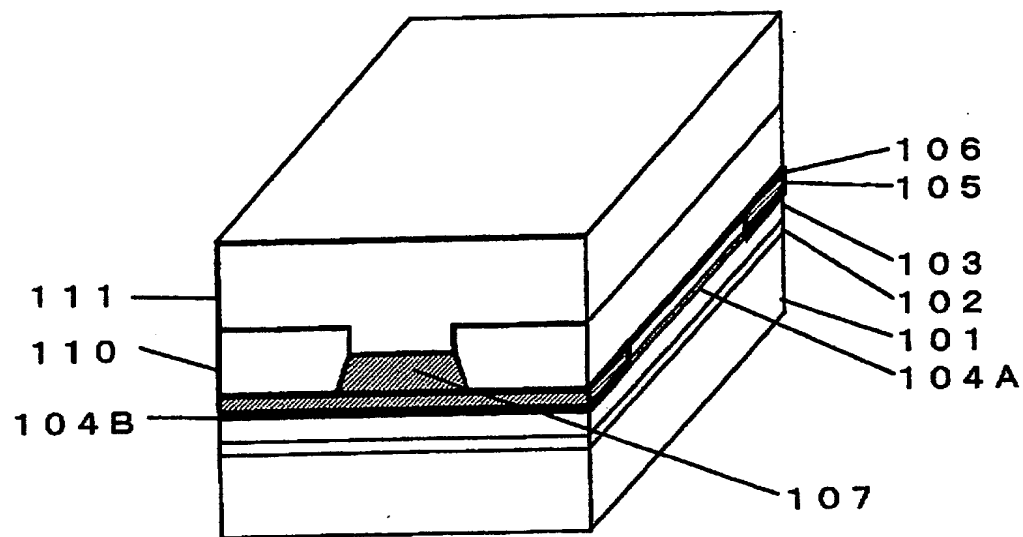
【図5】



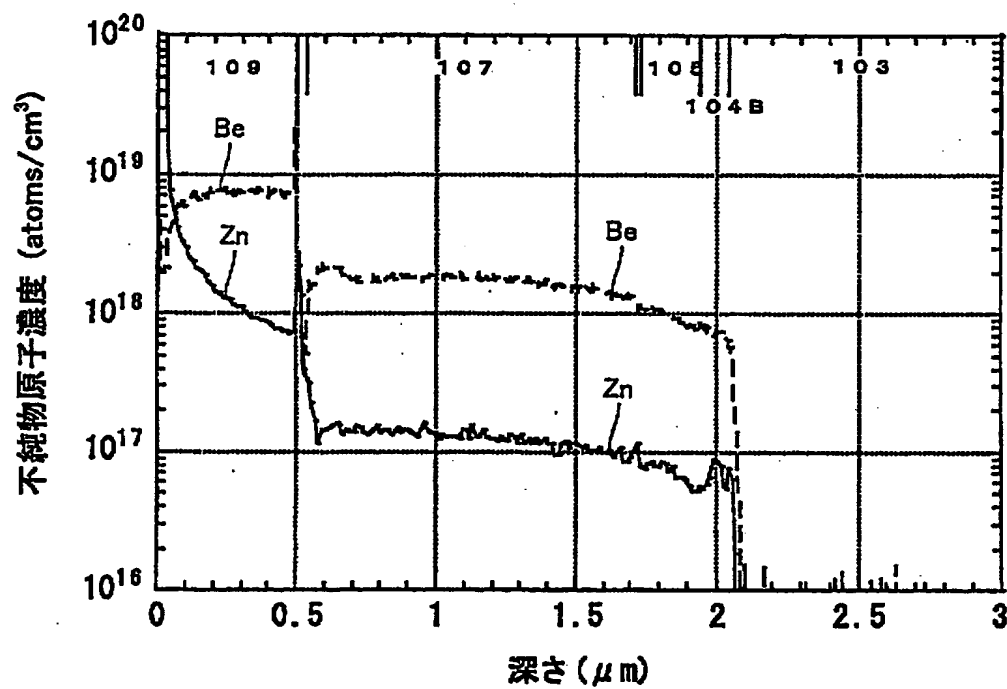
【図6】



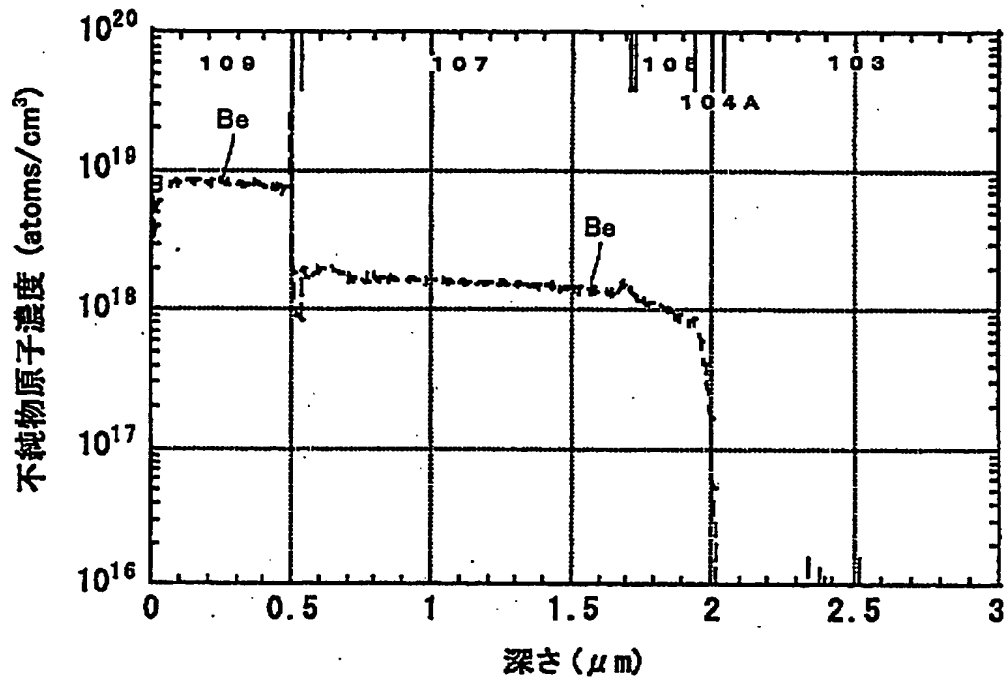
【図 7】



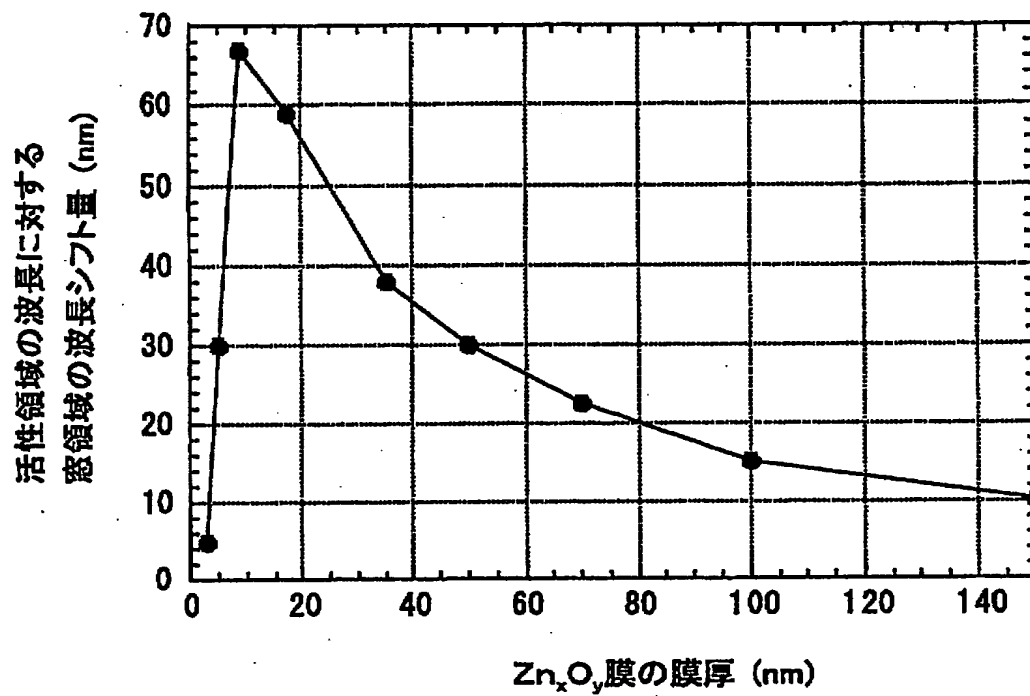
【図 8】



【図 9】

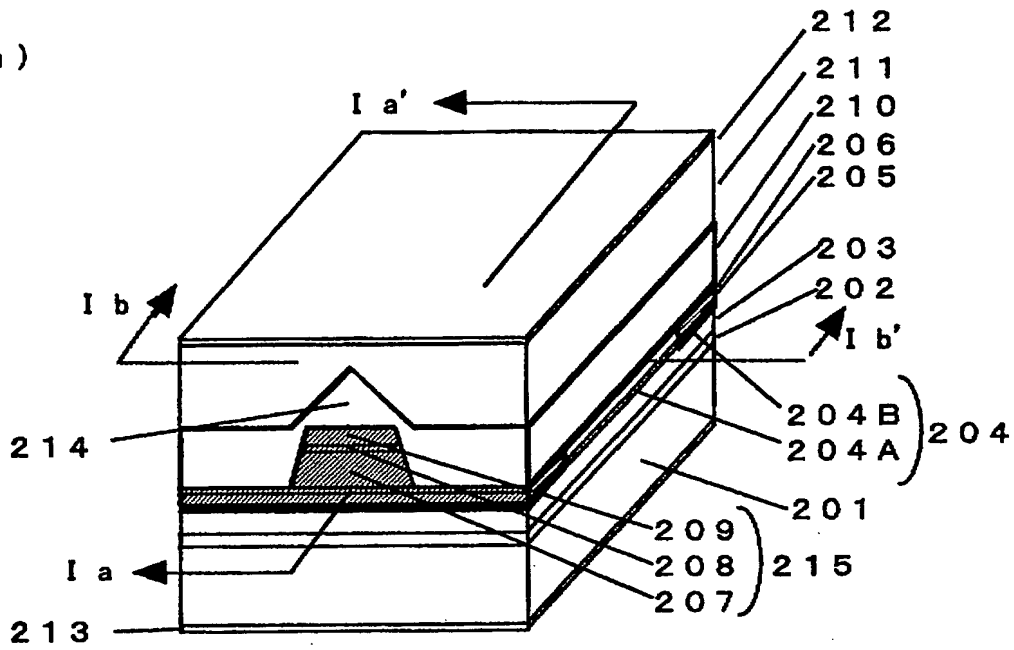


【図 10】

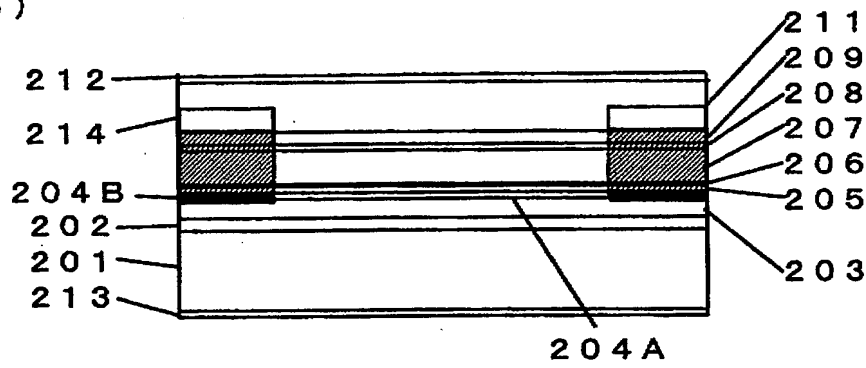


【図11】

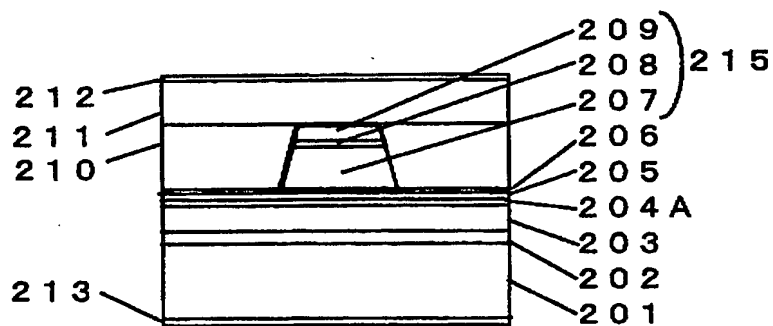
(a)



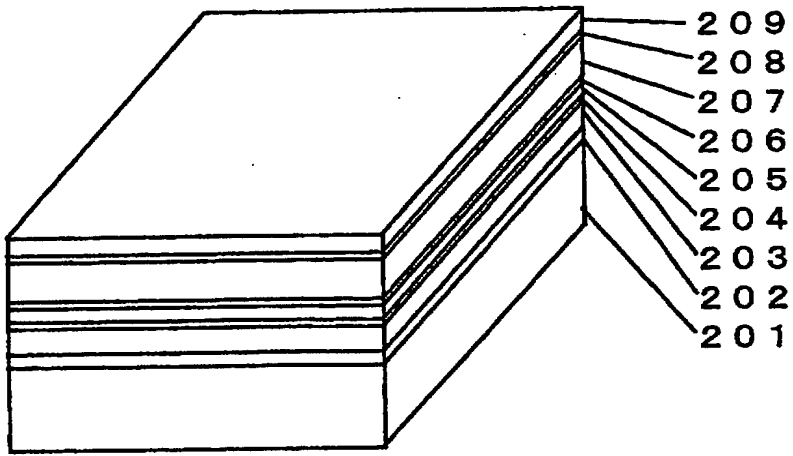
(b)



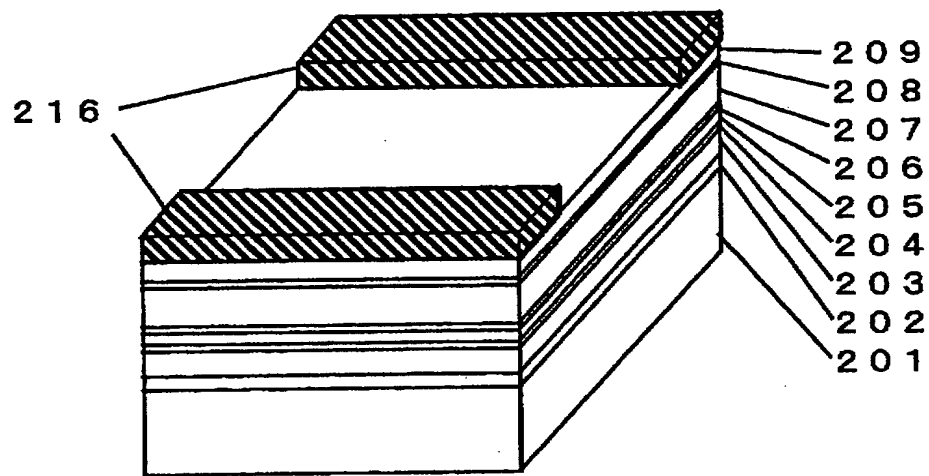
(c)



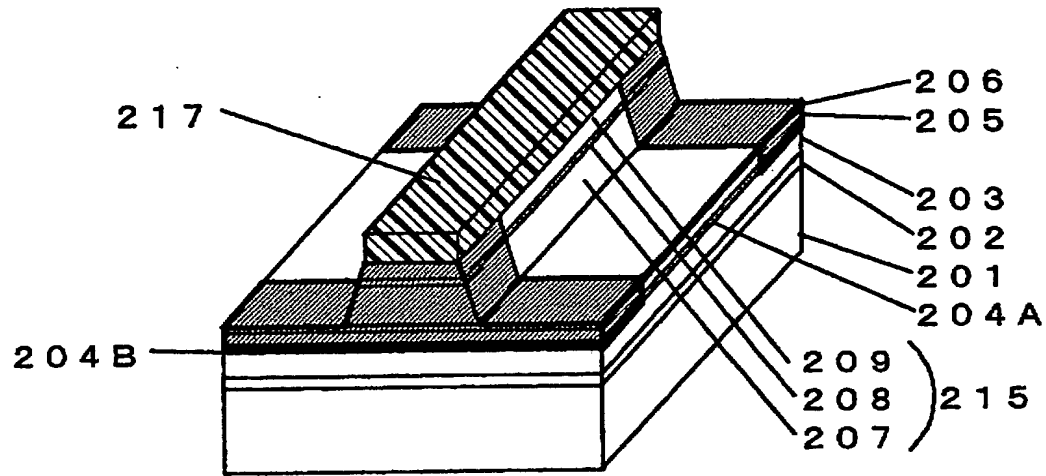
【図 1 2】



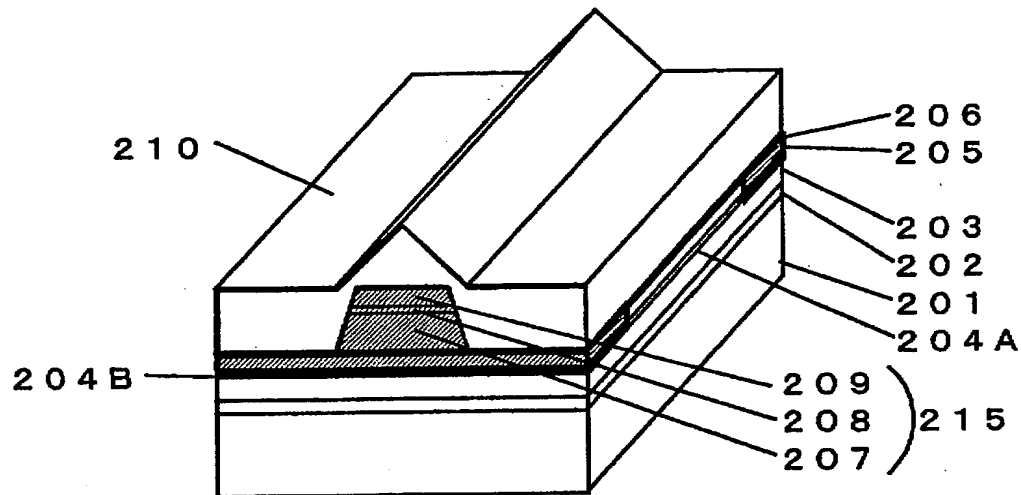
【図 1 3】



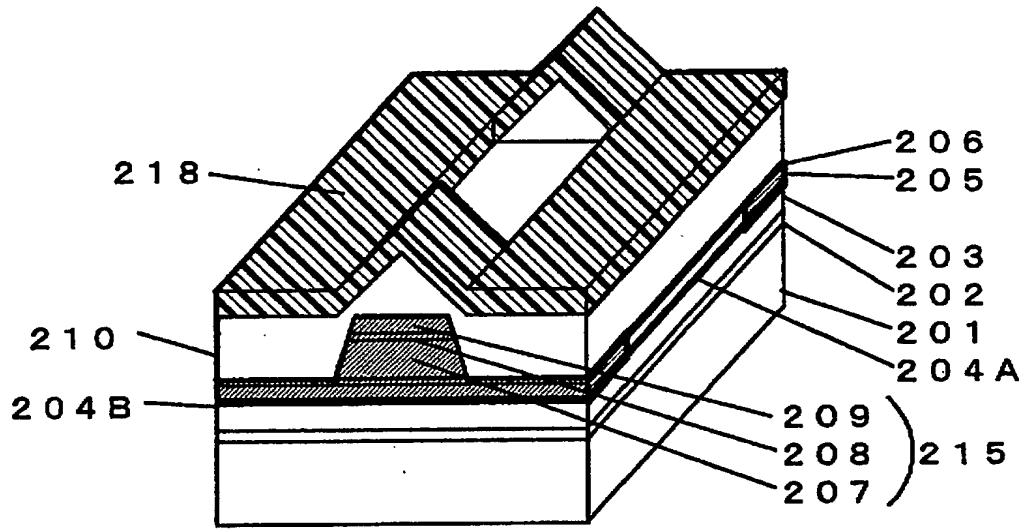
【図14】



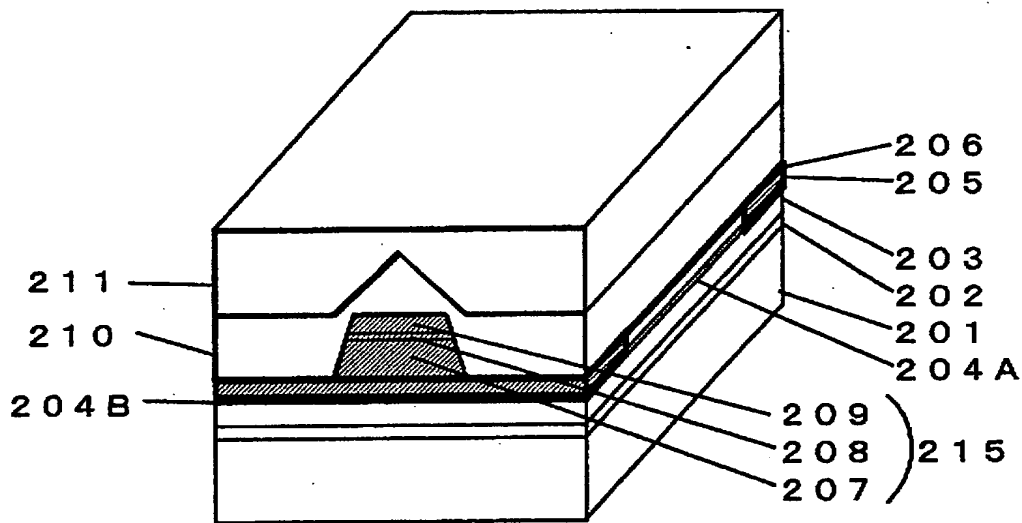
【図15】



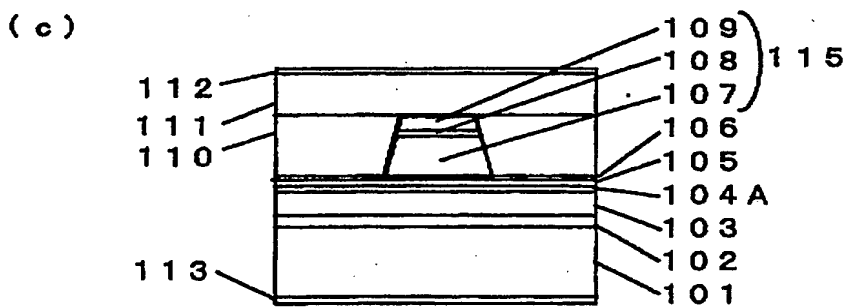
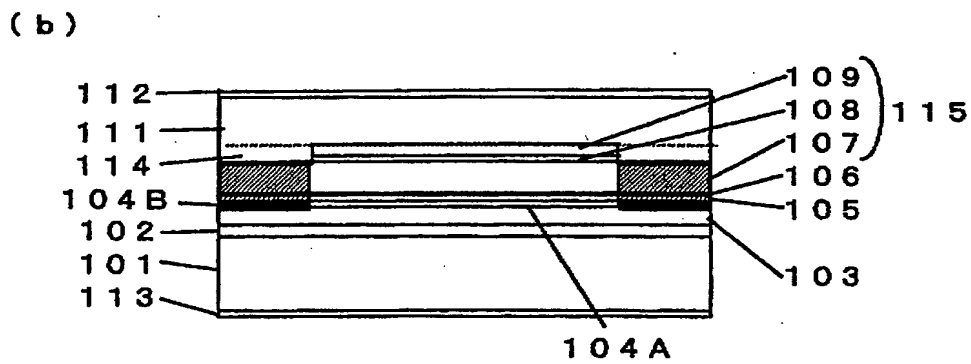
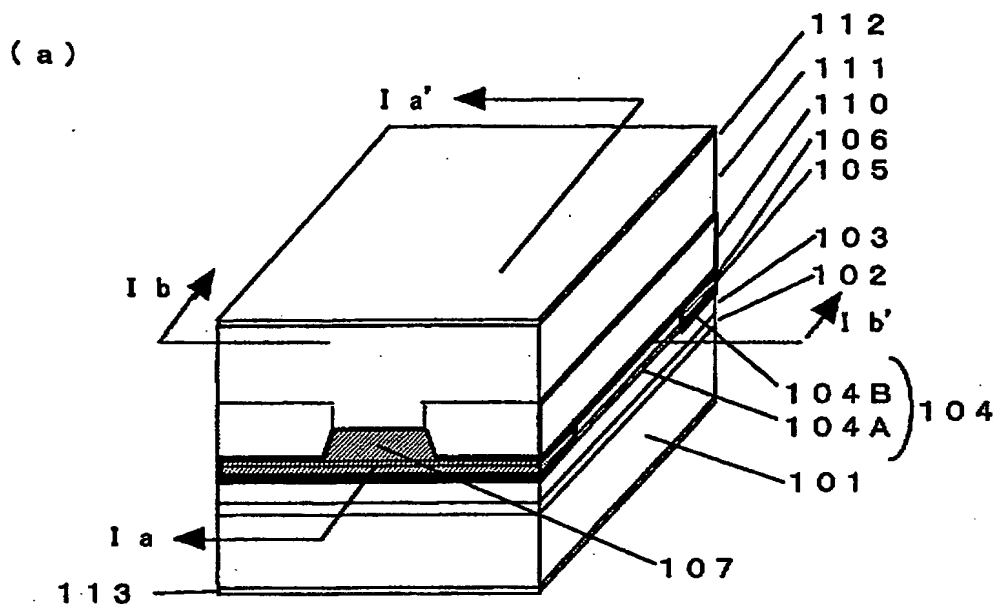
【図16】



【図17】

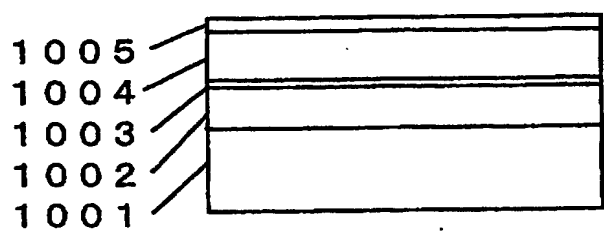


【図18】

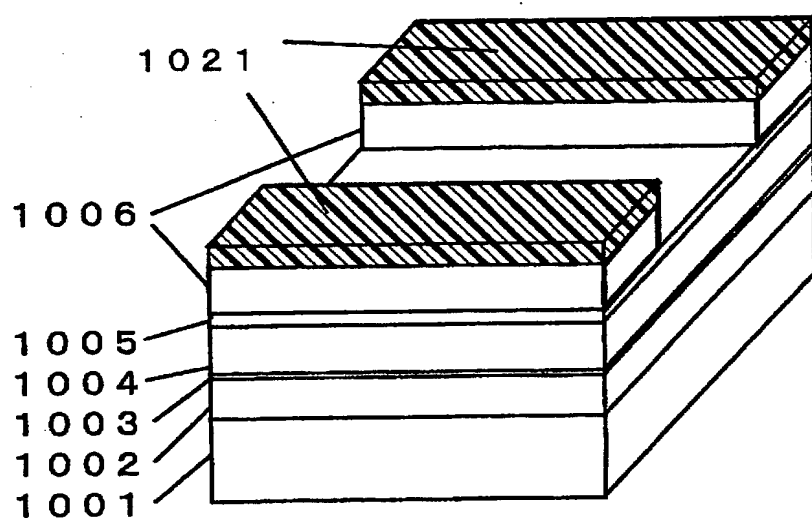




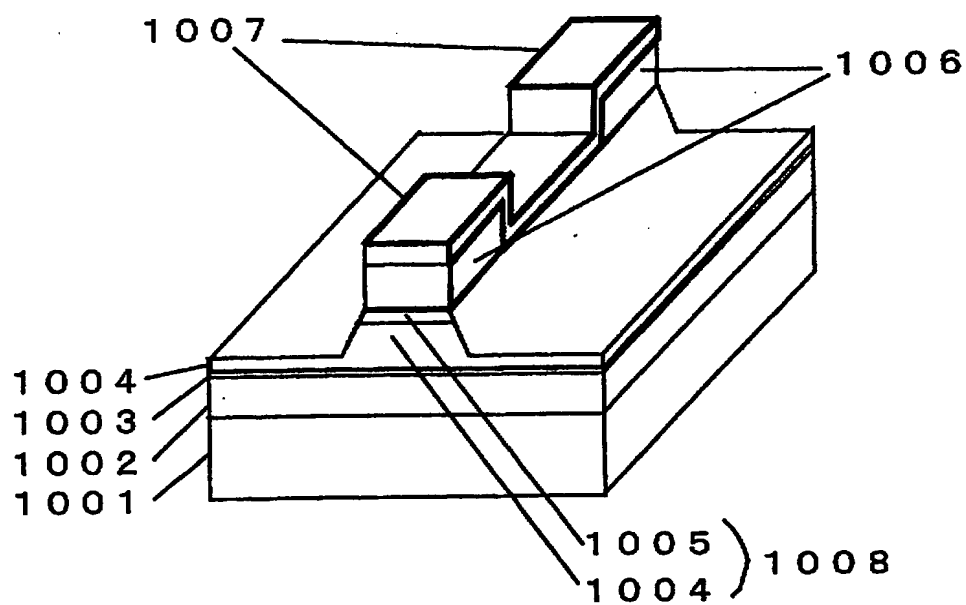
【図19】



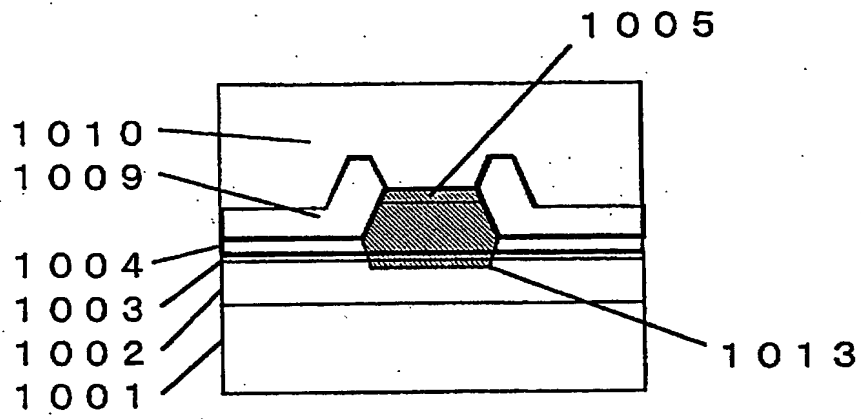
【図20】



【図21】



【図 22】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 高出力時の駆動電流を低減し、C O D の発生が無く、長期信頼性に優れた半導体レーザ素子およびその製造方法を提供する。

【解決手段】 本発明にかかるレーザ半導体素子は、半導体基板、第一導電型の第一クラッド層、活性層、第二導電型のクラッド層および第二導型の保護層を含み、レーザ共振器端面近傍領域の活性層（窓領域 1 0 4 B）のフォトルミネッセンスのピーク波長がレーザ共振器内部領域の活性層（活性領域 1 0 4 A）のフォトルミネッセンスのピーク波長により小さい半導体レーザ素子であって、該レーザ共振器端面近傍領域の活性層には、第二導電性を有する第 1 の不純物原子と第二導電性を有する第 2 の不純物原子とが混在し、かつ、該第 1 の不純物原子が該第 2 の不純物原子より高濃度に存在していることを特徴とする。

【選択図】 図 1

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [000005049]

|          |                     |
|----------|---------------------|
| 1. 変更年月日 | 1990年 8月29日         |
| [変更理由]   | 新規登録                |
| 住 所      | 大阪府大阪市阿倍野区長池町22番22号 |
| 氏 名      | シャープ株式会社            |